

---

# Estudi de dispersió de contaminants de les emissions vehiculars generades en els accessos de Plaça de Les Glòries (Barcelona)

---

*Elaborat per a:*



**Ajuntament  
de Barcelona**

*Realitzat per:*

**Meteosim, S.L.**

Parc Científic de Barcelona

C. Baldori Reixac 10-12

08028 Barcelona (Espanya)

Telefono: +34 934 499 245

Fax: +34 934 490 010

[www.meteosim.com](http://www.meteosim.com)

25 de febrer de 2020

Redactat  
per:

**Dra. Maria Ángeles González Serrano**

Doctora en Ciències Físiques i Màster en Meteorologia  
per la Universidad Complutense de Madrid.

**Grad. Miguel Ángel Manzanares Gutiérrez**

Graduat en Ciències Matemàtiques y Físiques per la  
Universidad Complutense de Madrid.



Revisat  
per:

**Dr. Raúl Arasa Agudo**

Doctor en Ciències Físiques i Màster en Meteorologia  
per la Universitat de Barcelona, i Màster en Direcció  
de Projectes per la Universitat Ramon Llull.



Les conclusions descrites al present informe s'han d'entendre únicament com el resultat de la informació utilitzada i dels procediments efectuats sobre la mateixa.

El client assumeix que no s'encarrega un determinat resultat, sinó l'elaboració d'un estudi que contempli els continguts o paràmetres fixats. Meteosim S.L. no es responsabilitzarà dels danys o pèrdues que el contingut de l'informe pugui ocasionar als interessos del client.

Per a la realització de l'estudi s'ha utilitzat el model de dispersió atmosfèrica CALPUFF. Tots els paràmetres necessaris per a la configuració de les emissions requerides pel model de dispersió ha estat subministrada pel sol·licitant.

Meteosim S.L. no es fa responsable de la veracitat de les dades subministrades i utilitzades per a l'avaluació de l'efecte de l'activitat del trànsit considerada sobre els nivells de qualitat de l'aire locals.

A l'efecte del que preveu l'article 355 de la Llei 1/2000 d'enjudiciament civil, qui subscriu el present informe manifesta, sota promesa, que ha actuat i, si escau, actuarà, amb la major objectivitat possible.



## Índex

1.	Introducció .....	11
2.	Fonaments de la modelització .....	13
2.1.	Informació instrumental .....	13
2.2.	Sistema de modelització .....	13
2.3.	Modelització meteorològica .....	14
2.4.	Factors d'emissió .....	17
2.5.	Modelització de la dispersió .....	18
3.	Inventari d'emissions .....	21
3.1.	Estimació d'emissions .....	22
3.1.1.	Emissions produïdes pels tubs d'escapament dels vehicles (combustió).....	22
3.1.2.	Emissions produïdes per la resuspensió de les partícules .....	24
3.1.3.	Emissions produïdes pel desgast de pneumàtics i frens .....	24
3.2.	Consideracions generals .....	25
4.	Caracterització meteorològica i validació de les dades.....	29
4.1.	Caracterització meteorològica .....	29
4.2.	Validació de les dades meteorològiques .....	32
5.	Configuració del model de dispersió.....	39
5.1.	Escenaris de modelització.....	40
5.2.	Fonts d'emissió .....	40
6.	Resultats.....	43
6.1.	Diferències .....	45
6.2.	Percentatges .....	49
7.	Conclusions .....	53
	Annex I: Classificació EURO dels vehicles.....	57
	Annex II: Diferències de concentració estimades amb coeficients de dilució específics de cada punt receptor .....	61



## Llistat de figures i taules

### Figures

Figura 1. Localització de la zona d'estudi.....	11
Figura 2. Descripció dels diferents models i mòduls utilitzats per al desenvolupament del projecte. "MET" fa referència a meteorologia.....	13
Figura 3. Representació esquemàtica de funcionament de WRF-ARW. <a href="http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html">http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html</a> .....	15
Figura 4. Dominis de modelització. Dominis D01, D02, D03 y D04 (superior); Domini D04 (inferior). .....	16
Figura 5. Comportament teòric del model CALPUFF.....	18
Figura 6. Localització dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari base. ....	21
Figura 7. Localització dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari futur. ....	22
Figura 8. Fluxos de trànsit dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari base. .	26
Figura 9. Fluxos de trànsit dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari futur. .	26
Figura 10. Cicle diari (esquerra) i cicle anual (dreta) de velocitat del vent simulada al punt d'anàlisi. ....	29
Figura 11. Rosa del vent (esquerra) i histograma de freqüència d'intensitat del vent (dreta) anual simulades al punt d'anàlisi. ....	30
Figura 12. Roses de vent estacionals simulades al punt d'anàlisi. ....	30
Figura 13. Roses de vent horàries mitjanes simulades al punt d'anàlisi. ....	31
Figura 14. Cicle diari (esquerra) i anual (dreta) de temperatura simulada al punt d'anàlisi. ....	31
Figura 15. Precipitació mensual acumulada durant l'any 2017 al punt d'anàlisi. ....	32
Figura 16. Cicle diari (esquerra) i anual (dreta) d'humitat relativa simulada al punt d'anàlisi....	32
Figura 17. Estacions meteorològiques localitzades dins del domini de simulació (en color blanc). .....	33
Figura 18. Localització de la plaça de Glòries (en color vermell) y de la estació meteorològica Barcelona -CMT (en color blanc). .....	35
Figura 19. Sèrie anual de temperatura a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació. ....	36
Figura 20. Diagrama de dispersió de la temperatura a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació. ....	36
Figura 21. Sèrie anual d'humitat relativa a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació. ....	37
Figura 22. Diagrama de dispersió d'humitat relativa a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació. ....	37

Figura 23. Sèrie anual de velocitat del vent a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.....	37
Figura 24. Diagrama de dispersió de velocitat del vent a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació. ....	38
Figura 25. Usos del sòl considerats a la modelització. La línia negra delimita el domini CALPUFF. ....	39
Figura 26. Topografia considerada a la modelització. La línia negra delimita el domini CALPUFF. ....	40
Figura 27. Localització dels punts receptors d'interès. ....	44
Figura 28. Diferències del camp de concentració anual de $PM_{2,5}$ (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	45
Figura 29. Diferències del camp de concentració anual de $PM_{10}$ (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	46
Figura 30. Diferències del camp de concentració anual de $NO_2$ (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	47
Figura 31. Percentatges de variació de concentració anual de $PM_{2,5}$ de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	49
Figura 32. Percentatges de variació de concentració anual de $PM_{10}$ de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	50
Figura 33. Percentatges de variació de concentració anual de $NO_2$ de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel. ....	51



## Taules

Taula 1. Principals característiques metodològiques de l'estudi. ....	11
Taula 2. Característiques de cada domini de modelització. ....	16
Taula 3. Constants necessàries per a l'estimació de les emissions per la resuspensió de la pols. Els factors multiplicatius k estan expressats en g/VKT (grams per vehicle-quilòmetre viatjat) ..	24
Taula 4. Coeficient de dilució de la concentració dels contaminants passius als túnels amb ventilació longitudinal ( <i>Font: Les études d'environnement dans les projets routiers, volets "air" et "santé", CETU, França</i> ) .....	27
Taula 5. Registres mitjans, màxims i mínims de temperatura mensual (en ° C) simulades al punt d'anàlisi. ....	31
Taula 6. Registres mitjans, màxims i mínims d'humitat relativa mensual (en %). ....	32
Taula 7. Característiques de les estacions meteorològiques localitzades dins del domini de simulació. ....	33
Taula 8. Estadístics de comparació observació-modelització avaluats per a les estacions considerades. ....	35
Taula 9. Propietats del domini de modelització CALPUFF. Coordenades referides a la zona segons WGS-84 .....	39
Taula 10. Localització geogràfica dels receptors puntuals d'interès. UTM Zona 31 N WGS-84. ....	44
Taula 11. Diferències de concentració de cada un dels contaminants als punts receptors (Escenari Futur– Escenari Base). La concentració de tots els contaminants ve expressada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , i és calculada a la superfície. ....	48
Taula 12. Percentatges de variació de concentració de l'escenari futur respecte l'escenari base als punts receptors a la superfície.....	52



## 1. Introducció

El present estudi correspon a l'“Estudi de dispersió de contaminants de les emissions vehiculars generades en els accessos de Plaça de Les Glòries (Barcelona)”, el qual pretén determinar les implicacions ambientals com a conseqüència de les emissions associades al trànsit a la plaça de les Glòries. L'estudi té com objectiu avaluar l'impacte atmosfèric dels vehicles en la qualitat de l'aire entorn de la plaça de les Glòries en l'actualitat (escenari base), i un cop hagin finalitzat les obres de soterrament de la Gran Via (escenari futur). Amb el model CALPUFF, s'ha fet una avaluació dels valors d'immissió resultants.

Les principals característiques metodològiques de l'estudi realitzat es presenten a la Taula 1.

Taula 1. Principals característiques metodològiques de l'estudi.

<b>Caracterització de les emissions</b>	Emissions calculades a partir de la informació proporcionada per l'Ajuntament de Barcelona
<b>Modelització de la dispersió</b>	Utilització del model CALPUFF.
<b>Any de modelització</b>	2017
<b>Contaminants emesos</b>	NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> i PM <sub>2,5</sub>
<b>Localització</b>	El domini de simulació s'ha centrat a la Plaça de les Glòries

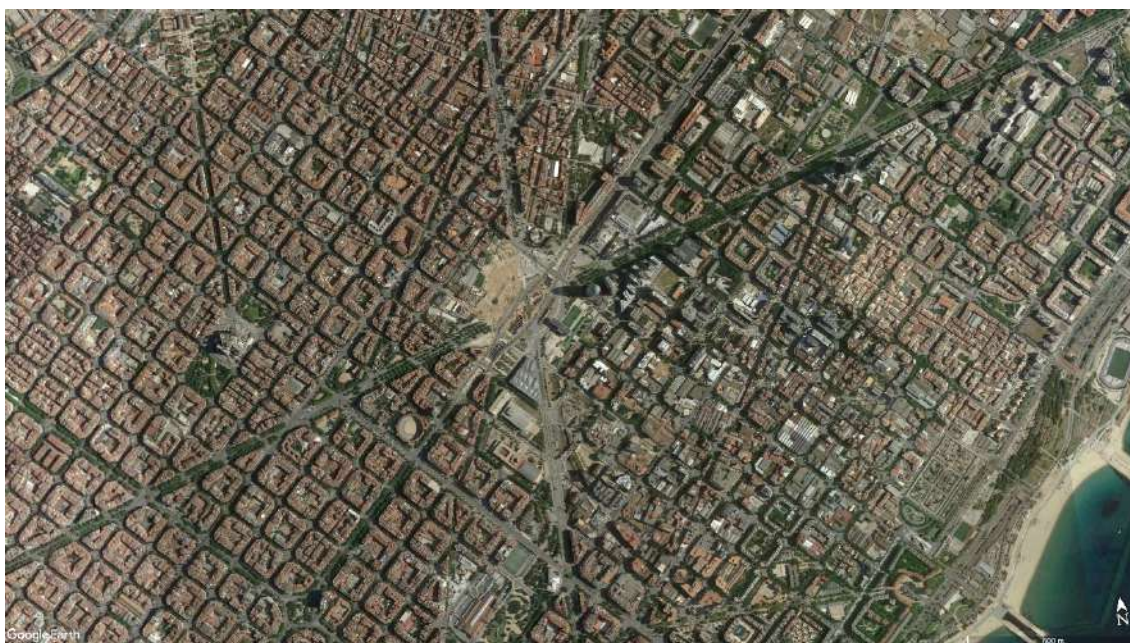


Figura 1. Localització de la zona d'estudi.

Al capítol 2 del present document s'hi descriuen els fonaments de la modelització realitzada. El capítol 3 es focalitza en les emissions considerades. Al capítol 4 s'hi presenten tots els resultats obtinguts, i, per últim, les conclusions es detallen al capítol 5.



## 2. Fonaments de la modelització

Per al compliment dels objectius esperats pel projecte, s'ha enfocat la solució en base a l'ús conjunt de diferents tècniques:

- Informació instrumental procedent d'estacions meteorològiques.
- Factors d'emissió que permeten el càlcul de les emissions injectades a l'atmosfera associat a cada activitat emissora.
- Modelització numèrica del temps a través de models meteorològics.
- Modelització de la dispersió dels contaminants injectats a l'atmosfera.

En les següents seccions es presenta el sistema de modelització integrat desenvolupat, i es descriuen les interaccions entre els diferents mòduls, així com les característiques individuals de cada un d'ells.

### 2.1. Informació instrumental

Tots els models necessiten informació instrumental representativa de l'àrea d'anàlisi. Dins d'aquest projecte s'ha utilitzat la informació instrumental per validar el model meteorològic i caracteritzar meteorològicament l'àrea d'anàlisi.

### 2.2. Sistema de modelització

Un model és una eina que pretén reproduir la realitat. Models n'hi ha molts de diferents, però en el cas que ens ocupa, s'han utilitzat models numèrics deterministes, els quals poden resoldre les equacions que governen la dinàmica de l'atmosfera (en el cas de la meteorologia) i l'equació de conservació de les espècies contaminants (en el cas de la qualitat de l'aire).

A la següent figura es presenta una anàlisi modular descriptiva de les interaccions dels diferents mòduls i les diferents entrades i sortides que s'hi necessiten. La finalitat del sistema de modelització és obtenir els camps de concentració més representatius i fiables per a cada escenari de modelització.

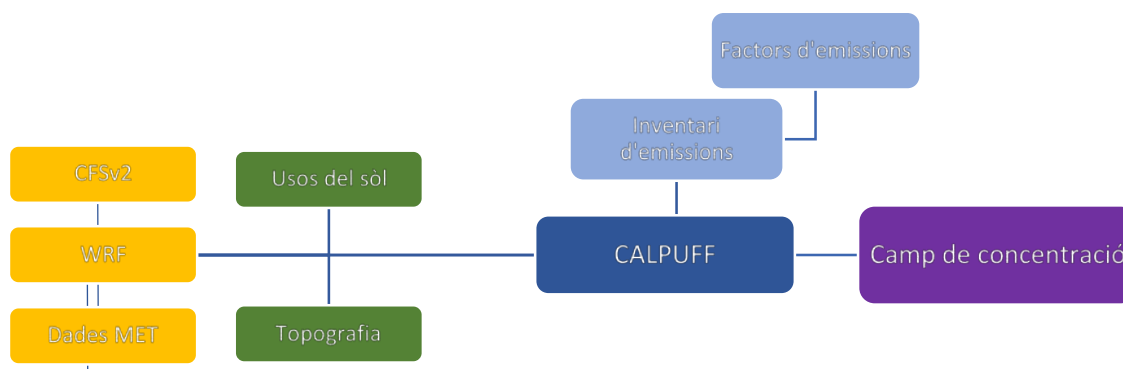


Figura 2. Descripció dels diferents models i mòduls utilitzats per al desenvolupament del projecte. "MET" fa referència a meteorologia.

A les properes seccions es detallaran les característiques de cada un dels mòduls de la figura anterior.

### 2.3. Modelització meteorològica

Tots els models de dispersió de contaminants necessiten informació meteorològica caracteritzada espacial i temporalment. Aquesta informació meteorològica es pot obtenir a través d'estacions de mesura o amb models meteorològics.

La informació obtinguda a través de les estacions, tot i que és una fotografia de la realitat actual o passada, té com inconvenients que tan sols permet modelitzar la dispersió en l'escala temporal present o passada; que només ofereixen informació del mateix punt on es fa la mesura; i que tan sols ofereixen valors de les variables de les quals en tenen sensors (normalment temperatura, vent, humitat, precipitació i pressió).

En canvi, els models meteorològics, encara que necessiten ser calibrats per adaptar-se a la zona a modelitzar, ofereixen la possibilitat de simular la dispersió a passat, present i futur, no només als punts de mesura de les estacions, sinó en tot el domini de simulació, i per a totes les variables meteorològiques necessàries per a fer qualsevol predicció.

Així mateix, en aquest projecte s'ha utilitzat la informació instrumental combinada amb informació procedent de modelització meteorològica d'alta resolució. Les simulacions s'han alimentat amb informació de teledetecció (satèl·lits, radars, radiosondatges, etc.), que ha permès reproduir d'una forma més fiable la meteorologia de la zona i en qualsevol instant temporal.

Per a la generació de dades meteorològiques necessàries per a la realització de la simulació CALPUFF s'ha fet servir el model numèric eulerià *Weather Research and Forecasting Model* (WRF<sup>1</sup>) mantingut per l'NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) i la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) dels Estats Units. WRF té una estructura modular amb capacitat per a execucions en mode multi-tasca en ordinadors amb memòria distribuïda o compartida. Les seves principals característiques són les següents:

- Múltiples opcions de projecció geogràfica (estereogràfica polar, Mercator, Lambert, latitud-longitud) i coordenades verticals sigma que segueixen el terreny.
- Capacitat de niament múltiple entre els dominis, fet que facilita l'estudi de fenòmens atmosfèrics de diferents escales espacials i el disseny de prediccions d'alta resolució. La interacció entre els dominis pot ser en una direcció (one way nesting) o en dues (two-way nesting), i les malles niades poden ser mòbils.
- Formulació d'una dinàmica no hidrostàtica, que permet que el model pugui ser utilitzat per representar fenòmens de dimensions inferiors a 10 km.
- Inicialització automàtica amb diferents fonts d'anàlisi meteorològic i observacions, incloent la capacitat d'assimilació variacional en tres (3DVAR) i en quatre dimensions (4DVAR).
- Incorporació d'esquemes realistes de parametrització dels processos físics relacionats amb la radiació atmosfèrica, microfísica de núvols i precipitació, convecció, turbulència i fluxos d'energia i quantitat de moviment sobre la superfície terrestre.

Les dades d'entrada que necessita el model són:

---

<sup>1</sup> Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G., 2005. A description of the advanced research WRF version 2 NCAR Tech Notes-46 +STR.

- Dades fisiogràfiques sobre el domini de simulació: elevació digital del terreny, usos del sòl, índex de vegetació, temperatura climàtica de la mar, etc.
- Condicions inicials i de contorn. Les dades de reanàlisi del CFSv2<sup>2</sup> (Climate Forecast System v2) procedents de l'NCEP (National Center for Environmental Prediction) han estat els utilitzats per a la inicialització del model WRF. CFSv2 realitza simulacions atmosfèriques per a tot el món amb una resolució de 0,5 ° (55km aproximadament). CFSv2 es correspon amb un model acoblat ja que reuneix en un únic model un model atmosfèric i un d'oceànic, representant la interacció entre l'atmosfera, els oceans, la terra i la coberta de gel. CFSv2 assimila informació satel·lital dels últims 30 dies, el que li permet proporcionar una descripció completa de l'estat de l'atmosfera. D'aquesta manera la inicialització del model WRF s'ha realitzat a partir de reanàlisi CFSv2 amb una resolució horitzontal de 0,5 ° i les dades fisiogràfiques del domini venen proporcionades pel propi model.

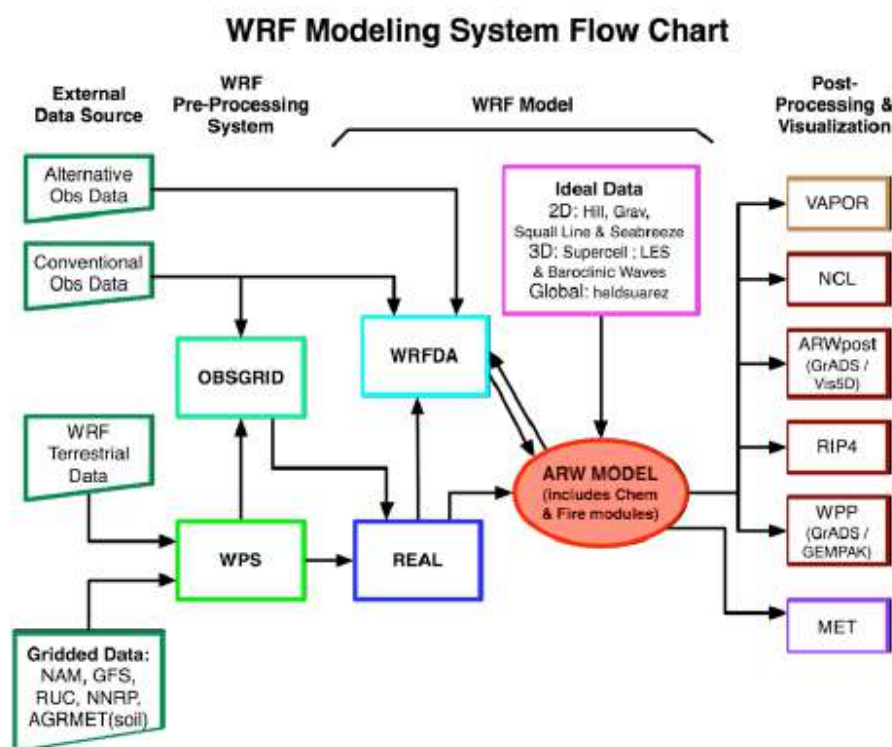


Figura 3. Representació esquemàtica de funcionament de WRF-ARW.  
[http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_V3/contents.html](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html)

S'ha utilitzat la configuració WRF per defecte, incloent 30 nivells verticals, considerant la realització de simulacions amb arquitectura de doble aniuament, el que assegura que la influència entre els processos meteorològics de diferents escales i representats en els diferents dominis de modelització definits sigui bijectiva. Per al present projecte, les simulacions WRF s'han realitzat treballant amb la versió 3.7 del model, amb una resolució horitzontal d'1 km. Per assegurar que el model representi la major quantitat de fenòmens meteorològics possibles, característics de les diferents escales meteorològiques (sinòptica, mesoscala, microscala), la

<sup>2</sup> Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H.-Y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Peña, M., Van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E., 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate*, 27, pp.2185–2208.



modelització meteorològica s'ha aplicat sobre una arquitectura de malles aniuades que defineixen una sèrie de dominis. Les principals característiques dels dominis de modelització dissenyats es presenten a continuació.

Taula 2. Característiques de cada domini de modelització.

CARACTERÍSTICA	DOMINI D01	DOMINI D02	DOMINI D03	DOMINI D04
Descripció	Sud d'Europa i Nord d'Àfrica	Península Ibèrica, França y Nord d'Àfrica	Península Ibèrica	Barcelona
Resolució	27x27 km <sup>2</sup>	9x9 km <sup>2</sup>	3x3 km <sup>2</sup>	1x1 km <sup>2</sup>
Nombre de cel·les	180 x 140	337 x 280	460 x 394	64 x 64
Extensió del domini	4860 x 3780 km <sup>2</sup>	3033 x 2520 km <sup>2</sup>	1520 x 1170 km <sup>2</sup>	64 x 64 km <sup>2</sup>
Model aplicat	WRF-ARW v3.7	WRF-ARW v3.7	WRF-ARW v3.7	WRF-ARW v3.7

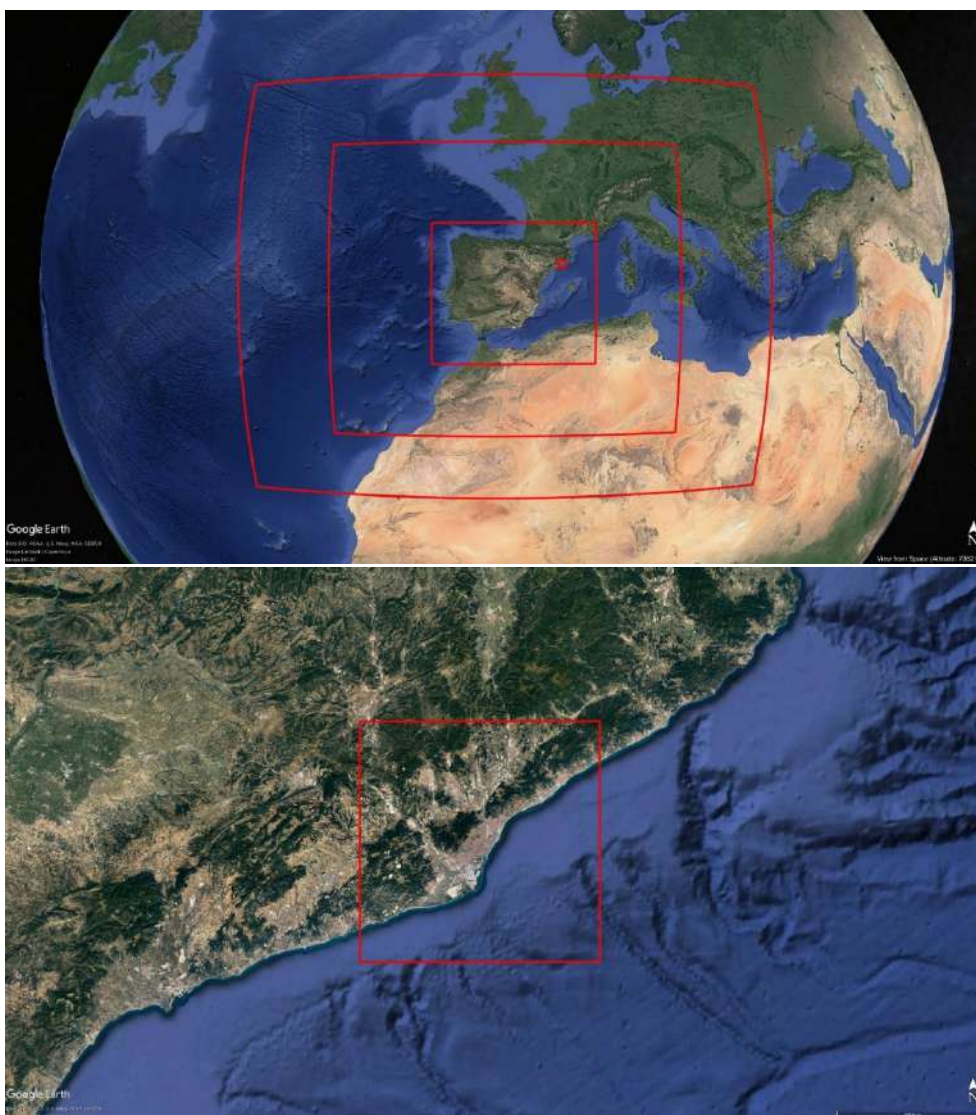


Figura 4. Dominis de modelització. Dominis D01, D02, D03 y D04 (superior); Domini D04 (inferior).

L'estudi s'ha realitzat amb la meteorologia del l'any 2017, l'últim any complet disponible en el moment d'executar el projecte.



## 2.4. Factors d'emissió

Els factors d'emissió són una de les metodologies que existeixen per a l'obtenció de les emissions que injecta a l'atmosfera una determinada activitat.

Consisteix en un càlcul numèric per estimar les emissions que s'injecten a l'atmosfera per part d'una activitat a partir d'una variable característica d'aquesta activitat (coneguda com a variable d'activitat). Els factors d'emissió s'expressen en unitats de massa del contaminant emès per unitat de variable d'activitat. El producte del factor d'emissió per la variable d'activitat permet obtenir l'emissió del contaminant associat a l'activitat.

$$E_{kj} = FE_{kj} \cdot A_k$$

on:

$E_{kj}$  correspon a l'emissió del contaminant j associat a la activitat k.

$FE_{kj}$  correspon al factor de emissió del contaminant j associat a la activitat k.

$A_k$  correspon a la activitat k emissora de contaminants.

Hi ha diferents guies metodològiques que proporcionen valors recopilats d'aquests factors d'emissió. En aquest cas, l'estimació de les emissions causades pel transport motoritzat segueix la metodologia publicada per la Agència Europea de Medi Ambient (EEA) al document: "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016"<sup>3</sup>. Aquesta guia d'emissions (abans anomenada EMEP CORINAIR emission inventory guidebook) proporciona orientació sobre l'estimació d'emissions de fonts antropogèniques i naturals. S'han fet servir el capítol "1.A.3.b.i-iv: Exhaust emissions from road transport" i l'annex "1.A.3.b.i-iv: Exhaust emissions from road transport annex HDV files", els quals tracten les emissions del transport motoritzat, dels autobusos, vehicles pesants i autobusos.

Seguint la metodologia de l'Agència Europea de Medi Ambient (EEA), les emissions de la ciutat degudes al trànsit es calculen amb la següent equació:

$$E_{kj} = \sum_{i=1}^n IMD \times fp_i \times FE(v)_i$$

on:

$E_{kj}$  són les emissions del tram k del contaminant j.

IMD correspon al nombre de vehicles que circulen pel tram de mitjana al dia.

$fp_i$  correspon al factor percentual de tipologia i de vehicle

$FE_i$  correspon al factor de emissió del contaminant j per a cada tipus de vehicle i, que depèn de la velocitat v del tram on es circuli.

Al capítol 4 es presenta una anàlisi detallat de com s'ha fet l'inventari d'emissions.

---

<sup>3</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>

## 2.5. Modelització de la dispersió

El model CALPUFF (versió 6.42) ha estat seleccionat per a la realització de les simulacions i anàlisi de la dispersió de les emissions generades al projecte. El model CALPUFF va ser desenvolupat pel ASG (Atmospheric Studies Group), i és un model Lagrangià de "puffs" gaussians que permet simular les variacions temporals i espacials dels diferents contaminants a l'atmosfera, tenint en compte el seu transport, transformació i dipòsit. El model CALPUFF pot simular fenòmens de canalització, brises marines, cisallament del vent, etc., amb més rigor que altres models, com AERMOD. Les dues grans avantatges del model CALPUFF enfront del model AERMOD són:

- (1) El model CALPUFF considera la meteorologia com heterogènia a l'espai, mentre que AERMOD la considera uniforme espacialment. Per això, el model CALPUFF és recomanable a zones de topografia complexa on el model AERMOD presenta mancances.
- (2) El model CALPUFF contempla reaccions químiques a l'atmosfera, considerant els contaminants químics en funció de les seves característiques (pes molecular, reactivitat, velocitat de deposició, etc.), mentre que el model AERMOD tracta tots els contaminants de la mateixa manera.

El mecanisme amb què el model CALPUFF simula la dispersió de la contaminació es basa en suposar que de tant en tant s'emet un núvol de partícules, distribuïdes dins del propi núvol segons una funció gaussiana, des de les fonts emissores. La mida inicial de cada núvol emès dependrà de les característiques de la font. CALPUFF considera el transport i dispersió dels contaminants de cada núvol de forma independent, de manera que seran transportats individualment segons les condicions meteorològiques, mentre van augmentant de volum a causa de la difusió. CALPUFF considera també reaccions químiques entre els contaminants, a més de la seva eliminació, per dipòsit sec o dipòsit humit.

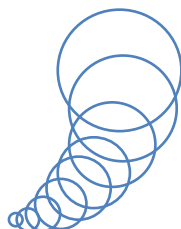


Figura 5. Comportament teòric del model CALPUFF.

El model CALPUFF és en realitat un sistema de modelització homònim, el qual integra tres components: CALMET, CALPUFF i CALPOST. El primer d'ells, CALMET, és el model de diagnòstic meteorològic tridimensional del sistema, mentre que CALPOST és el mòdul de postprocessat, que tracta els resultats de concentració en l'aire i dipòsit dels contaminants obtinguts amb CALPUFF.

CALPUFF necessita determinades dades d'entrada per a la seva correcta execució, especialment la informació relativa a les fonts emissores (dimensions de les xemeneies, temperatura dels gasos emesos, mida de l'àrea emissora, etc.), i la informació meteorològica (velocitat i direcció del vent, temperatura, alçada de la capa de mescla, etc.). CALPUFF fa servir aquesta informació meteorològica en tres dimensions, la qual cosa suposa considerar dades en superfície i en altura. Les dades meteorològiques poden provenir de simulacions, i al seu torn aquestes dades poden ser complementades amb mesures realitzades a les estacions meteorològiques disponibles o radiosondatges (temperatura, humitat relativa, velocitat i direcció del vent, informació sobre la

cobertura nuvolosa, pressió atmosfèrica i precipitació). El model WRF (Weather Research and Forecasting model) ha estat l'escollit per Meteosim per realitzar aquestes simulacions i generar la informació meteorològica en superfície i en altura requerida per CALPUFF.

Pel que fa a les sortides, el model CALPUFF proporciona dades horàries de concentració, dipòsit sec i dipòsit humit de cada un dels contaminants considerats, tant en punts receptors concrets, com en la malla d'estudi.

CALPUFF permet tractar un gran nombre de fonts o focus d'emissió, ja siguin de forma puntual, lineal, àrea o volum, i a més les emissions considerades poden ser constants o variables. Per tant, necessita aquests paràmetres d'entrada:

- Localització i característiques de les fonts emissores amb la intensitat d'emissió. Per a les fonts puntuals, les dades requerides pel model són: alçada, diàmetre de la font, temperatura i velocitat de sortida dels gasos o partícules contaminants. Per a les fonts espacials, són necessàries, a més, les dimensions d'aquestes zones.
- Definició d'un domini cartesià d'una determinada resolució horitzontal. Es pot incloure també la localització de determinats punts receptors discrets.
- Dades meteorològiques de tot el domini a estudiar. Requereix valors horaris de velocitat del vent, direcció del vent, temperatura, humitat relativa, nuvolositat, altura dels núvols, pressió i precipitació.
- Informació topogràfica del terreny a modelitzar amb una resolució específica, així com informació dels usos del sòl de tot el domini.

Amb tots els requeriments del model CALPUFF i considerant les emissions que es detallaran en la següent secció, s'han calculat els escenaris de modelització corresponents, que tindran en compte la dispersió de les emissions dels contaminants ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ).

Meteosim ha realitzat les simulacions CALPUFF amb la versió 6.42 utilitzant el seu codi font descarregat de la pàgina web de l'US EPA. Per a l'anàlisi de resultats i la generació de gràfiques s'han utilitzat diferents programes informàtics basats en llenguatges Fortran, C++, Python i R, desenvolupats per Meteosim.



### 3. Inventari d'emissions

Per cadascun dels escenaris de modelització s'han calculat els corresponents escenaris d'emissions per tal d'identificar la diferència entre els seus nivells d'immissió. Només s'han considerat emissions procedents del trànsit, ja que el que es vol comparar és l'impacte que tindrà la construcció dels túnels a la qualitat de l'aire de l'entorn. Cap altre tipus d'emissions s'ha tingut en compte. La informació necessària per calcular els corresponents inventaris d'emissions ha estat proporcionada per l'Ajuntament de Barcelona.

S'han calculat dos escenaris de modelització: un escenari de modelització per al cas base, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries en l'actualitat, i un escenari de modelització per al cas futur, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries un cop hagin finalitzat les obres de soterrament de la Gran Via. L'estudi s'ha desenvolupat per a 3 contaminants diferents:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  i  $NO_2$ .

Les següents figures mostren totes les fonts considerades (trams de trànsit) en cada escenari.



Figura 6. Localització dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari base.





Figura 7. Localització dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari futur.

### 3.1. Estimació d'emissions

Per a la determinació de l'escenari base, primerament s'ha fet un procés d'anàlisi de les dades subministrades per l'Ajuntament de Barcelona, les quals inclouen valors dels fluxos (IMD) de tots els trams de la ciutat, així com la velocitat i la mida de cada tram. Per tant, cada un dels trams del domini considerat a la simulació ha estat caracteritzat per la seva pròpia IMD i velocitat. S'han eliminat trams amb flux zero o longitud nul·la.

#### 3.1.1. Emissions produïdes pels tubs d'escapament dels vehicles (combustió)

Les emissions produïdes pels tubs d'escapament dels vehicles sorgeixen de la combustió de benzina i dièsel, principalment.

L'estimació de les emissions causades per la combustió dels vehicles s'ha realitzat fent servir els factors d'emissions del document "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016", concretament els dels capítols "1.A.3.b.i. Passenger cars", "1.A.3.b.ii. Light commercial trucks", "1.A.3.b.iii. Heavy-duty vehicles including buses" i "1.A.3.b.iv. Mopeds and motorcycles". Per calcular les emissions de partícules i diòxid de nitrogen causades pels tubs d'escapament dels diferents vehicles en circulació, s'ha utilitzat la distribució del parc vehicular de Barcelona, facilitada per l'Ajuntament de Barcelona. El document anomenat "Caracterització dels vehicles i les seves emissions a Barcelona i l'AMB" s'ha fet servir per extreure la informació dels percentatges dels tipus de vehicles del parc circulant a la ciutat de Barcelona. Amb aquests

percentatges s'han calculat les emissions mitjançant una combinació de factors d'emissió i dades d'activitat dels vehicles. En aquest cas, les emissions totals dels tubs d'escapament s'estimen com la suma de les emissions calentes (quan el motor es troba a la temperatura de funcionament normal) i les emissions durant el funcionament del motor tèrmic transitori (anomenades emissions de "sortida en fred"). Les concentracions d'alguns contaminants durant el període d'escalfament són moltes vegades més altes que durant el funcionament en calent, i es requereix un enfocament metodològic diferent. Per resumir, les emissions totals es poden calcular mitjançant la següent equació:

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD}$$

on:

$E_{TOTAL}$  són les emissions totals de cada un dels contaminants

$E_{HOT}$  són les emissions produïdes durant el funcionament en calent

$E_{COLD}$  són les emissions produïdes durant el període d'escalfament

Les emissions calentes depenen de diversos factors, incloent-hi la distància que recorre cada vehicle, la velocitat o el tipus de motor:

$$E_{HOT} = N_k x M_{k,r} x e_{HOT\ i,k,r}$$

on:

$E_{HOT}$  són les emissions produïdes durant el funcionament en calent

$N_k$  és el nombre de vehicles de tipus k

$M_{k,r}$  són els quilòmetres per vehicle de tipus k per al tram r

$e_{HOT\ i,k,r}$  és el factor d'emissió (g/km) per al contaminant i corresponent a la tipologia de vehicles k i per al tram r.

Les emissions durant el període d'escalfament es calculen com una emissió addicional i està relacionada amb les emissions calentes:

$$E_{COLD} = \beta_{i,k} N_k x M_{k,r} x e_{HOT\ i,k,r} x \left( \frac{e^{COLD}}{e^{HOT\ i,j}} - 1 \right)$$

on:

$E_{COLD}$  (g) són les emissions produïdes durant el funcionament en calent

$\beta_{i,k}$  és un factor de quilometratge per tipus de vehicle i per cada contaminant, depenent de la temperatura.

$N_k$  és el nombre de vehicles de tipus k

$M_{k,r}$  són los quilòmetres per vehicle de tipus k per al tram r

$e_{HOT\ i,k,r}$  és el factor d'emissió (g/km) per al contaminant i corresponent a la tipologia de vehicles k i per al tram r.

$e^{COLD}/e^{HOT}$  és un coeficient d'emissió per al contaminant i corresponent a la tipologia de vehicles k.

### 3.1.2. Emissions produïdes per la resuspensió de les partícules

El trànsit vehicular al llarg dels carrers fa que per acció mecànica del rodar dels pneumàtics i les turbulències del vent es llancin a l'aire partícules. La metodologia de càlcul utilitzada per a l'estimació d'emissions pel trànsit de vehicles per fora de carreteres és la proposta per l'EPA en la secció 13.2.1 "Paved Roads" del document AP 42.

Les emissions per trànsit de vehicles per vies pavimentades s'estimen en funció del nombre de viatges que es realitza per cada tram i la longitud d'aquest. La metodologia s'especifica en la següent equació:

$$FE \left( \frac{g}{VKT} \right) = k(sL)^a(W)^b$$

on:

W és el pes mitjà dels vehicles

a, b són constants empíriques

k correspon al factor multiplicatiu de cada tipus de partícula

sL és la càrrega de material fi de la superfície

Taula 3. Constants necessàries per a l'estimació de les emissions per la resuspensió de la pols. Els factors multiplicatius k estan expressats en g/VKT (grams per vehicle-quilòmetre viatjat)

a	b	k PM <sub>10</sub> (g/VKT)	k PM <sub>2,5</sub> (g/VKT)
0,91	1,02	0,62	0,15

Totes les constants i factors es van obtenir del document de l'EPA anteriorment citat. Els valors de sL depenen de la IMD de cada tram, i venen recomanats per la mateixa guia. Per tant, per a trams amb un flux de trànsit inferior a 500 vehicles, es fa servir un valor de sL de 0,6 g/m<sup>2</sup>; per a trams amb un flux de trànsit entre 500 i 5000 vehicles, es fa servir un valor de sL de 0,2 g/m<sup>2</sup>; per a trams amb un flux de trànsit entre 5000 i 10000 vehicles, s'utilitza un valor de sL de 0,06 g/m<sup>2</sup>; i per a trams amb un flux de trànsit superior a 10000 vehicles, s'utilitza un valor de sL de 0,03 g/m<sup>2</sup>. Pel que fa als pesos dels vehicles, s'han considerat valors mitjans per cada tipus de vehicle.

### 3.1.3. Emissions produïdes pel desgast de pneumàtics i frens

El desgast del pneumàtic és un procés complex que està impulsat per l'energia de fricció deguda al contacte entre el material amb què està fet el pneumàtic i el paviment. Les partícules de desgast del pneumàtic i les partícules de desgast de la superfície de la carretera estan, per tant, unides. Tanmateix, amb la finalitat de determinar els factors d'emissió, el desgast de la roda i el desgast de la superfície de la carretera han de ser tractats com a fonts de partícules separades a causa de la manca de dades experimentals. A més, el patró de conducció té un efecte significatiu sobre la velocitat de desgast, tant dels pneumàtics com dels frens.

L'estimació de les emissions degudes al desgast de pneumàtics i frens s'ha realitzat fent servir els factors d'emissions del document "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016", concretament els dels capítols "1.A.3.b.vi. Road transport: Automobile tyre and brake wear" i "1.A.3.b.vii. Road transport: Automobile road abrasion". Per calcular les emissions de



partícules a causa del desgast dels pneumàtics i els frens combinats, i del desgast de la superfície de la carretera, s'ha utilitzat la següent equació:

$$TE = \sum_j N_j \times M_j \times EF_{ij}$$

on:

TE són les emissions totals de cada un dels contaminants

Nj és en nombre de vehicles de la categoria j

Mj correspon quilometratge mitjà per tipologia de vehicle

EF<sub>ij</sub> correspon al factor de emissió del contaminant j per a cada tipus de vehicle i

### 3.2. Consideracions generals

Per fer l'estimació d'aquests tipus d'emissions, era necessari conèixer la distribució del parc vehicular de la ciutat de Barcelona. La informació open-data descarregada de la pàgina web de l'Ajuntament de Barcelona ha sigut un punt de partida per distribuir el parc vehicular. Així mateix, s'ha fet una anàlisi del fitxer CSV descarregat amb la tipologia de vehicles de cada barri de la ciutat. Per altra banda, del document "Caracterització dels vehicles i les seves emissions a Barcelona i l'AMB", facilitat per l'Ajuntament de Barcelona, s'ha extret la informació relacionada amb els tipus de vehicles que circulen per la ciutat de Barcelona, classificats segons la normativa EURO, considerant també el combustible que van fer servir els diferents vehicles durant l'any 2017. D'aquesta manera, s'han pogut calcular les emissions diferenciant per tipus de vehicles (autobusos, camions dièsel, camions de benzina, ciclomotors, motocicletes, furgonetes dièsel, furgonetes de benzina, turismes dièsel i turismes de benzina), tenint en compte la normativa EURO. A l'Annex I es pot veure la distribució del parc vehicular utilitzada a la simulació, en percentatges.

Per altra banda, per l'estimació d'emissions també s'han tingut en compte els valors d'intensitat de trànsit (IMD) per cada un dels trams del domini. Els factors d'emissió explicats abans s'han combinat amb els valors de flux de trànsit (facilitats per l'Ajuntament de Barcelona) per calcular les emissions que posteriorment es van introduir al model CALPUFF. A les següents imatges es poden veure els valors d'IMD de cada un dels trams considerats a cada escenari.

Arran de les imatges, es poden apreciar les diferències entre les distribucions del flux de trànsit dels dos escenaris. Principalment, els canvis d'IMD es noten més al voltant de la plaça de les Glòries, on s'esperen IMD més baixes en comparació amb l'escenari base.

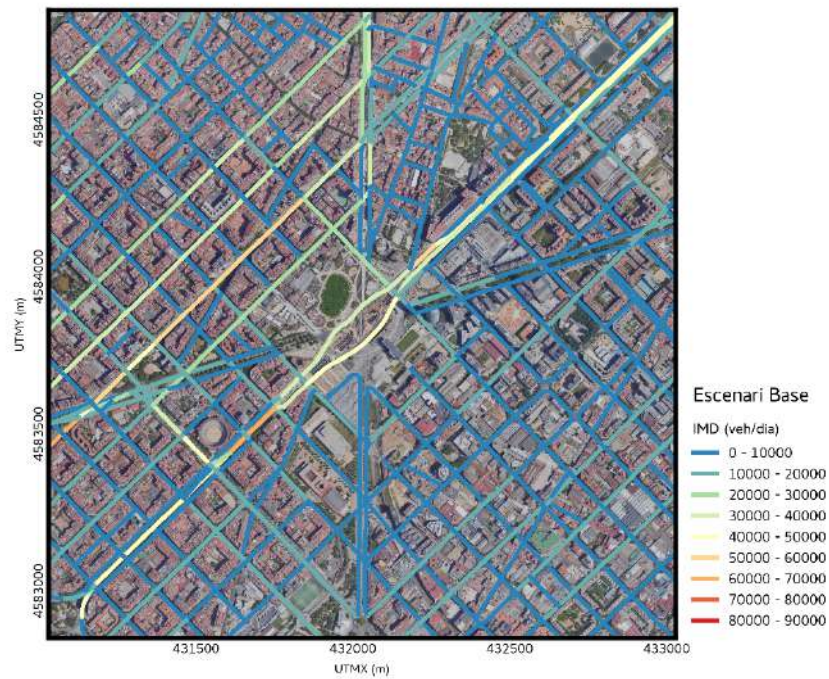


Figura 8. Fluxos de trànsit dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari base.

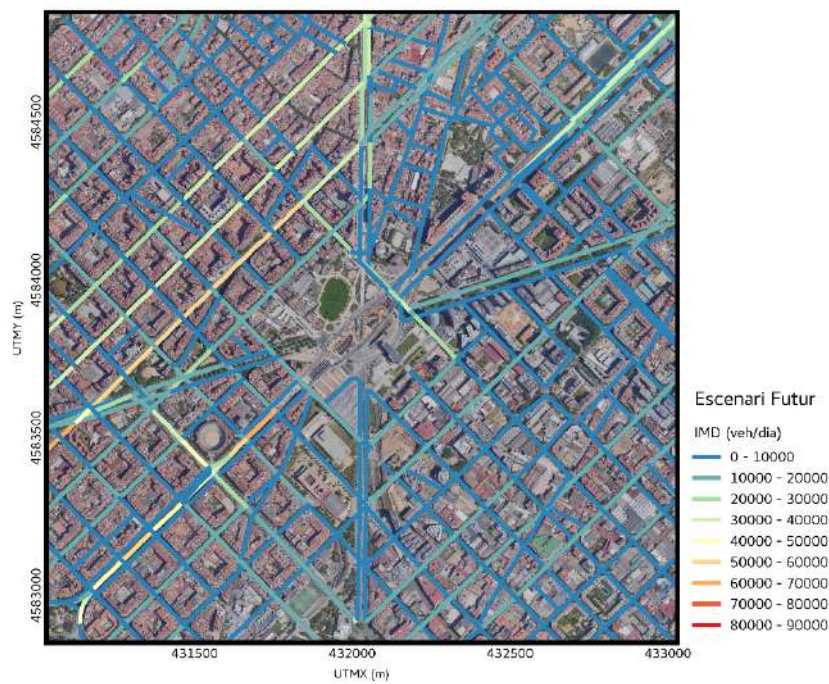


Figura 9. Fluxos de trànsit dels trams considerats com a font d'emissió per a l'escenari futur.

És important tenir en compte que els valors d'intensitat de trànsit (IMD) per a cada tram del domini considerat està estretament relacionat amb l'escenari final de trànsit que s'estableixi a la zona. En aquest cas, i segons les dades facilitades per l'Ajuntament de Barcelona, s'ha considerat el següent:

- El tronc central de la Gran Via estableix fins a tres carrils de circulació per sentit. En concret, es tracta d'un 2 + bus, establint dos carrils de circulació i un carril amb exclusivitat al transport col·lectiu de passatgers.
- Lateral banda muntanya: s'estableix un únic carril de circulació compartida bus + veïns. En aquest cas, els vehicles de persones no residents a la zona són desviats amb anterioritat pel carrer Bilbao.
- Lateral banda mar: un sol carril de circulació.
- A la resta de carrers del domini considerat a la simulació no es produeixen alteracions del nombre o ús dels carrils de circulació.

Les emissions dels trams corresponents als túnels (a l'escenari futur) s'han estimat com la resta de trams del domini. No obstant, al model s'han introduït com dues fonts individuals volumètriques, situades a les mateixes localitzacions de les boques del túnel (una al costat Besòs, i l'altra al costat Llobregat). D'aquesta manera el model pot reproduir millor el comportament del túnel, ja que amb la ventilació tota la emissió es concentra a les sortides del túnel, en lloc de ser repartida per tot el tram. A més, per considerar la dilució de la concentració de contaminants que produeix la ventilació, s'ha aplicat un coeficient de dilució, calculat per a túnels de tipus longitudinal pel Centre d'Etudes des Tunnels (CETU). Aquest coeficient es va estimar de manera experimental, i depèn de la distància i l'angle des de la boca del túnel (Taula 4).

Taula 4. Coeficient de dilució de la concentració dels contaminants passius als túnels amb ventilació longitudinal  
 (Font: *Les études d'environnement dans les projets routiers, volets "air" et "santé"*, CETU, França)

$\alpha$	Distància a la boca del túnel					
Angle	25 m	50 m	100 m	150 m	200 m	300 m
0°	0,07	0,10	0,19	0,10	0,02	0,02
30°	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	<0,01
60°	0,04	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01
90°	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
120°	0,03	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
150°	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
180°	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Per considerar un coeficient únic per tot el domini de simulació, s'han estimat les distàncies i angles que hi ha fins la boca del túnel més propera, per a tots els punts receptors de la Taula 10:

- Receptors 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 i 18: coeficient 0,01
- Receptors 2, 7, 8 i 9: coeficient 0,02
- Receptors 1 i 6: coeficient 0,03
- Receptors 10 i 19: coeficient 0,05

Per tant, el cas més desfavorable es presenta per als receptors 10 i 19, amb un coeficient de dilució de 0,05. Per això, en aquest estudi s'ha aplicat aquest coeficient, per treballar a tot el domini de simulació amb el cas més desfavorable. No obstant, a l'Annex II es presenta una taula

amb els resultats de concentració dels punts receptors amb coeficient específic de cada punt, tenint en compte la distància i l'angle que hi ha fins la boca del túnel més propera.

## 4. Caracterització meteorològica i validació de les dades

En aquest capítol es presenta una caracterització meteorològica de la zona d'anàlisi a partir dels resultats de la modelització meteorològica. També es mostra la precisió del model meteorològic utilitzat un cop comparats els valors modelitzats amb valors observats a les estacions de mesura de la zona.

### 4.1. Caracterització meteorològica

S'ha realitzat la caracterització meteorològica de les dades simulades mitjançant el model WRF per a l'any 2017.

A partir de la sèrie meteorològica obtinguda amb el model WRF, es presenta per al punt central del domini de simulació la sèrie anual de velocitat del vent, els cicles diaris de velocitat i direcció del vent, així com la rosa del vent amb diferenciació de 16 classes acompanyada de l'histograma d'intensitat del vent anual. A més, es representen les roses del vent per a cadascuna de les estacions de l'any. Finalment també es farà una anàlisi de les variacions de temperatura, precipitació i humitat mensual i diària.

Les velocitats del vent per sota d'1 m / s (vents considerats en calma) no s'han tingut en compte per a la creació de les roses del vent. De la mateixa manera, es consideren vents fluixos aquells entre 1 i 5 m / s, moderats entre 5 i 10 m / s i forts de 10 a 20 m / s. Totes les variables descrites anteriorment es presenten per a l'any 2017 i per al punt de malla del model WRF localitzat al centre del domini.

Del cicle diari de la velocitat del vent obtingut amb la modelització s'infereix una velocitat constant al llarg del dia que varia entre els 2 i 4 m/s. Els valors mensuals mitjans són també en general constants al llarg del any i se situen entre els 3 i 4 m/s (Figura 10). Segons l'histograma de freqüències (Figura 11) la majoria dels vents són inferiors a 5 m/s, per tant són els vents fluixos els més freqüents, tot i que un 15% aproximadament de les ocasions van donar lloc a vents moderats (entre 5 i 10 m/s). La rosa de vents per a l'any 2017 indica que els vents predominants són del nord-nord-oest (NNO) i de l'oest-nord-oest, en gairebé un 10% i 9% de les ocasions respectivament. Aquests vents es distribueixen majoritàriament en hores nocturnes (entre les 0h i les 8h UTC), mentre que durant el dia predominen els vents amb component sud-oest (SO).

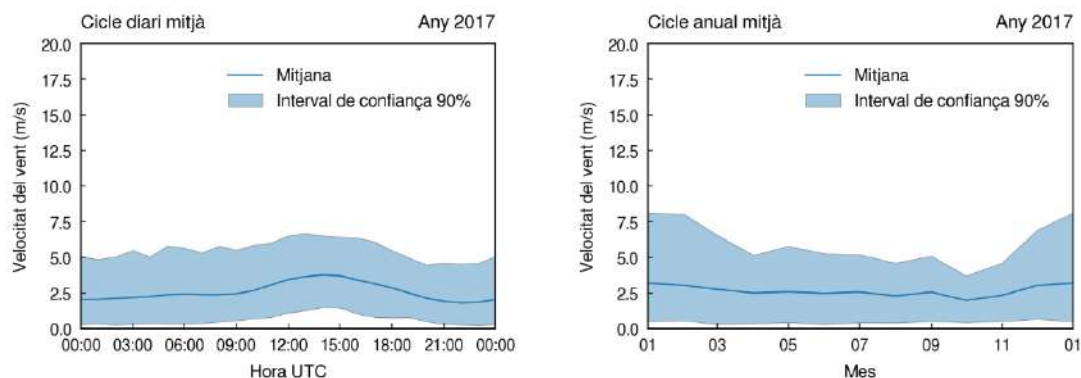


Figura 10. Cicle diari (esquerra) i cicle anual (dreta) de velocitat del vent simulada al punt d'anàlisi.



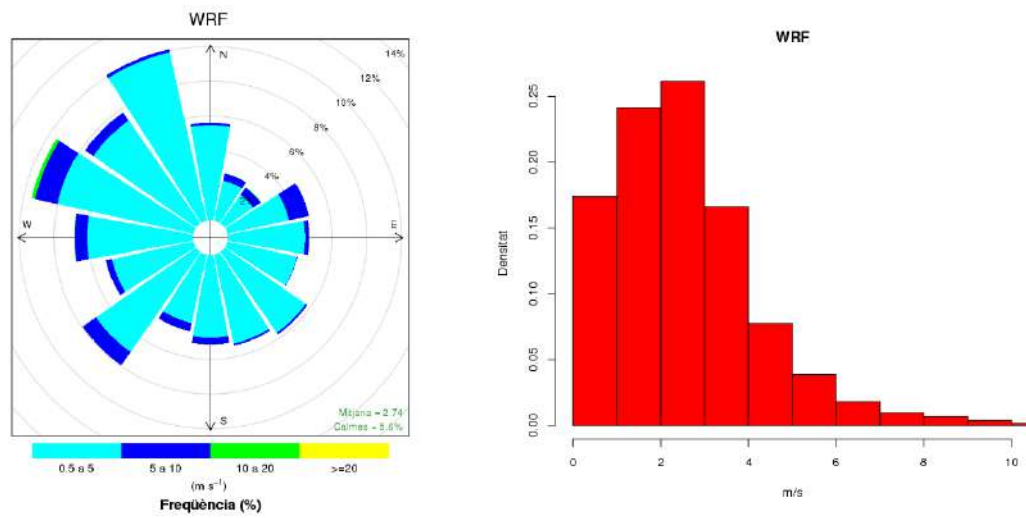


Figura 11. Rosa del vent (esquerra) i histograma de freqüència d'intensitat del vent (dreta) anual simulades al punt d'anàlisi.

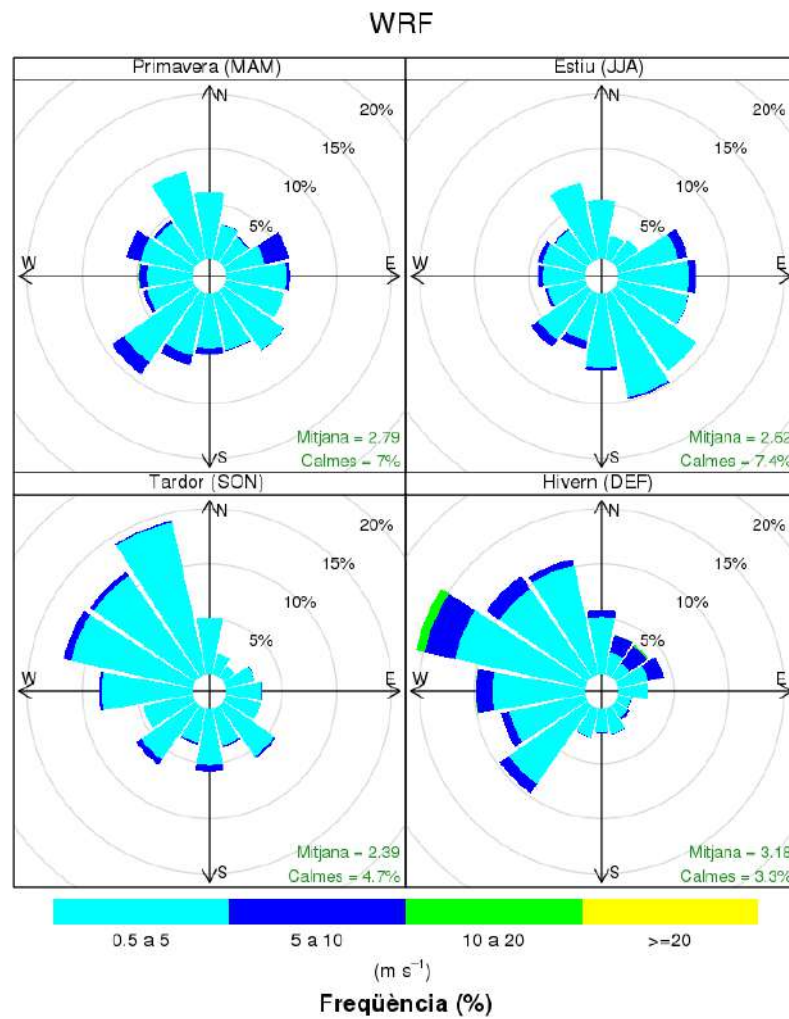


Figura 12. Roses de vent estacionals simulades al punt d'anàlisi.

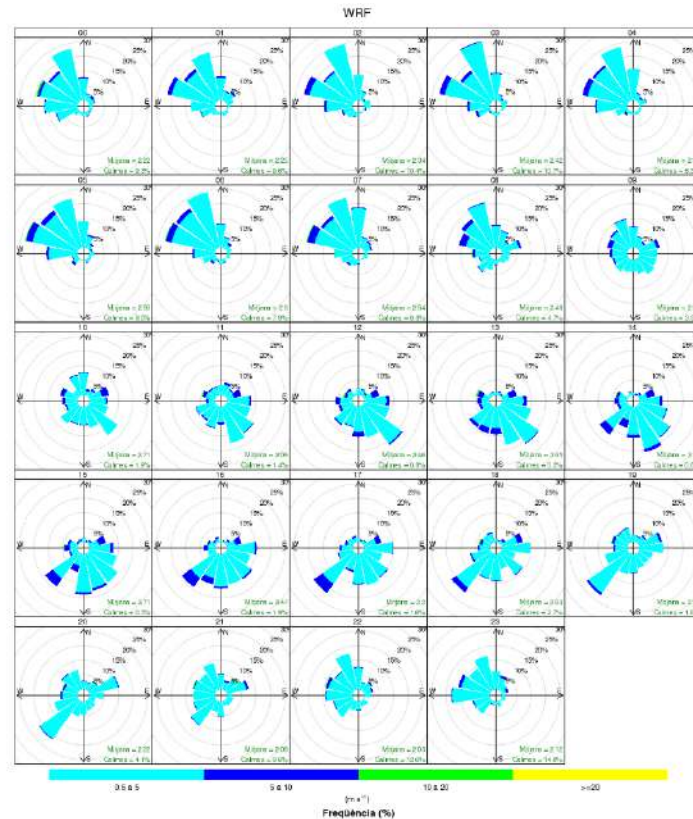


Figura 13. Roses de vent horàries mitjanes simulades al punt d'anàlisi.

A la Taula 5 s'observen els valors mitjans mensuals de temperatura i les dades mínimes i màximes en cada mes de l'any. Les temperatures mínimes es produïren al gener amb un valor mig mensual de 8,4 °C i un valor mínims absolut de 1,6 °C. Les temperatures màximes es produïren a l'estiu amb valors mitjos mensuals al voltant de 24 °C i un valor màxim absolut de 33 °C registrat a l'Agost. A nivell diari (Figura 14) l'oscil·lació de temperatura és de 15 °C a 20 °C graus de mitjana entre el dia i la nit.

Taula 5. Registres mitjans, màxims i mínims de temperatura mensual (en °C) simulades al punt d'anàlisi.

Temperatura	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
Mitjana	8,4	11,6	13,3	14,6	18,3	23,6	23,9	24,9	20,6	19	13,2	9,7
Màx.	15,2	19,6	21,4	22,5	26,2	33,6	29,8	33	29,6	25,2	20,9	18,1
Mín.	1,6	5,4	6,9	8,4	10,3	16,4	15,9	18	14,5	14,1	5,9	4,5

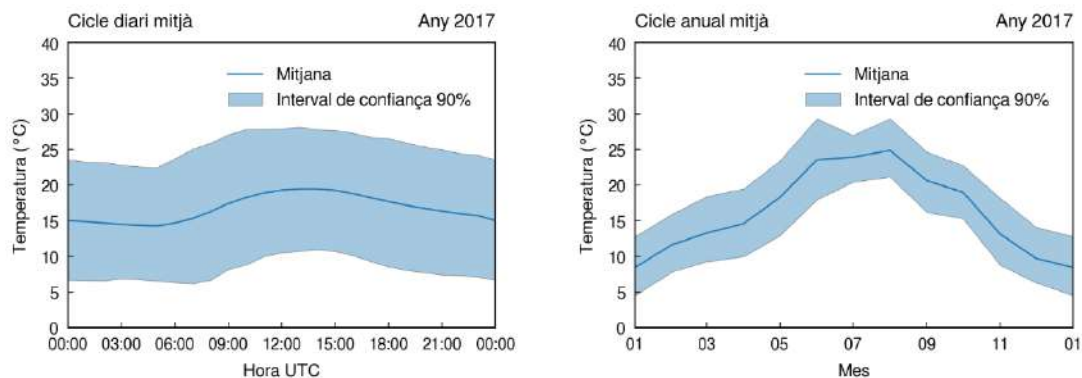


Figura 14. Cicle diari (esquerra) i anual (dreta) de temperatura simulada al punt d'anàlisi.

De la Figura 15 corresponent als valors de precipitació acumulats per a cada mes, s'infereix que el mes amb més pluja de l'any 2017 va ser setembre, amb un valor mensual acumulat superior a 90 mm. Durant la resta de l'any, la precipitació es manté amb valors entre els 10 i els 40 mm.

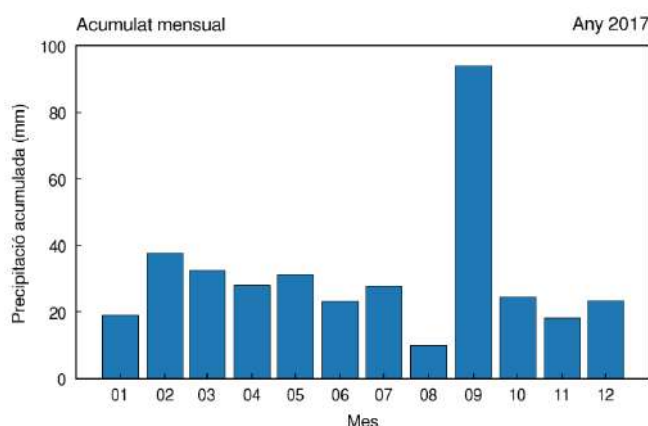


Figura 15. Precipitació mensual acumulada durant l'any 2017 al punt d'anàlisi.

Pel que fa a la humitat relativa, la Taula 6 mostra els valors mitjans, màxims i mínims obtinguts al punt d'anàlisi. Aquest paràmetre es presenta amb valors força constants al llarg de l'any, amb màxims entre els 92 i el 100% i valors mitjans sempre superiors al 60%. A escala diària (Figura 16), s'observa una oscil·lació de la humitat relativa entre un 60% durant les hores centrals del dia i el 70% durant la nit.

Taula 6. Registres mitjans, màxims i mínims d'humitat relativa mensual (en %).

Humitat	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
Mitjana	61	71	64	60	65	59	70	66	69	73	54	56
Màx.	96	100	99	98	98	94	99	92	95	95	92	97
Mín.	17	29	28	20	23	19	28	31	25	28	17	16

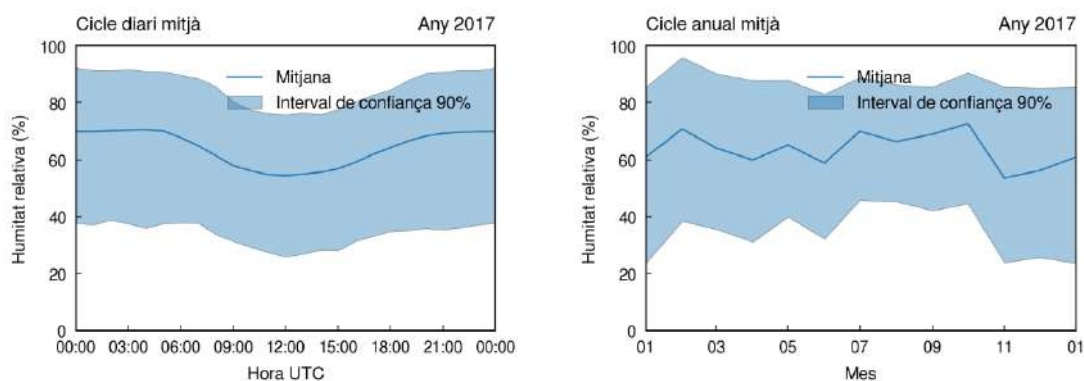


Figura 16. Cicle diari (esquerra) i anual (dreta) d'humitat relativa simulada al punt d'anàlisi

## 4.2. Validació de les dades meteorològiques

Per poder dur a terme una bona modelització i anàlisi, cal disposar de la informació més fidedigna possible. Per assegurar la qualitat dels resultats d'aquest estudi, es presenta a continuació una comparació entre els valors modelitzats i els valors observats. L'anàlisi es



realitza per a la temperatura, intensitat i direcció del vent i humitat relativa. S'han considerat les dades observades i modelitzades durant l'any 2017.

La figura següent mostra la ubicació de les estacions meteorològiques situades dins el domini del model, i més properes a l'àrea d'estudi. En total, s'han identificat 7 estacions (2 gestionades per AEMET i 5 gestionades per METEOCAT).



Figura 17. Estacions meteorològiques localitzades dins del domini de simulació (en color blanc).

Taula 7. Característiques de les estacions meteorològiques localitzades dins del domini de simulació.

\*msnm: metres sobre el nivell del mar.

Nom	Agència meteorològica	Latitud (°N)	Longitud (°E)	Altitud (msnm*)
Badalona – Museu	METEOCAT	41,45388	2,25139	42
Barcelona - CMT	AEMET	41,39056	2,2	6
Barcelona – Drassanes	AEMET	41,375	2,17389	5
Barcelona – Observatori Fabra	METEOCAT	41,41859	2,124	411
Barcelona – Raval	METEOCAT	41,38382	2,16778	33
Barcelona – Zona Universitària	METEOCAT	41,37921	2,10553	85
Barcelona - Zoo	METEOCAT	41,38943	2,18858	41

Per a la comparació numèric-determinista entre dades observades i modelitzats, s'han utilitzat una sèrie d'estadístics. Tal com defineix l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA) en el seu document tècnic N° 10/2011<sup>4</sup>, la selecció dels estadístics (que serveixen com a indicadors de la qualitat de la modelització) depèn de l'aplicació del model i la seva motivació, així com de les observacions disponibles. Per poder realitzar una anàlisi comparativa dels experiments, s'han utilitzat aquells estadístics indicats en l'esmentat document tècnic dels quals es defineix un valor de referència recomanat (taula A.2.3 del document tècnic No 10/2011). Aquests estadístics i valors de referència estan inclosos també al document de l'Agència del Medi Ambient Nord-

<sup>4</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/fairmode>

americana (EPA) Draft Guidance on Meteorological model evaluation (2009) i van ser suggerits per Emery et al. (2001)<sup>5</sup> i Tesche et al. (2002)<sup>6</sup>. Les definicions matemàtiques de cada un dels estadístics utilitzats es presenten a continuació:

Error mitjà:

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) \quad (1)$$

Error absolut mitjà:

$$MAGE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i - O_i| \quad (2)$$

Error quadràtic mitjà:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2} \quad (3)$$

Índex de concordança:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N |M_i - \bar{M}| + |O_i - \bar{O}|^2} \quad (4)$$

on  $O_i$  correspon a les observacions;  $M_i$  correspon als valors modelitzats;  $\bar{O}$  correspon al valor mitjà de les observacions i  $\bar{M}$  al valor mitjà dels valors modelitzats; i  $i$  correspon a cada un dels  $N$  (8760) valors horaris de les variables analitzades per a l'estació en qüestió.

D'entre totes les estacions, s'ha seleccionat l'estació de Barcelona CMT (Centre Meteorològic Territorial), gestionada per AEMET, per validar les dades. La localització d'aquesta estació i de la plaça de les Glòries es mostra a la següent figura. La distància entre aquestes ubicacions és inferior a 2 km, per la qual cosa es considera que les dades de l'estació són representatives del lloc d'estudi. D'altra banda, la resta d'estacions meteorològiques del domini són utilitzades per a l'assimilació de dades per part del model.

<sup>5</sup>Emery, C., Tai, E., 2001. Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes. Final report submitted to Texas Natural Resources Conservation Commission, prepared by ENVIRON, International Corp, Novato, CA.

<sup>6</sup>Tesche, T.W., McNally, D.E., Tremback, C., 2002. Operational Evaluation of the MM5 Meteorological Model Over the Continental United States: Protocol for Annual and Episodic Evaluation. Prepared for US EPA by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY, and ATMET, Inc., Boulder, CO.

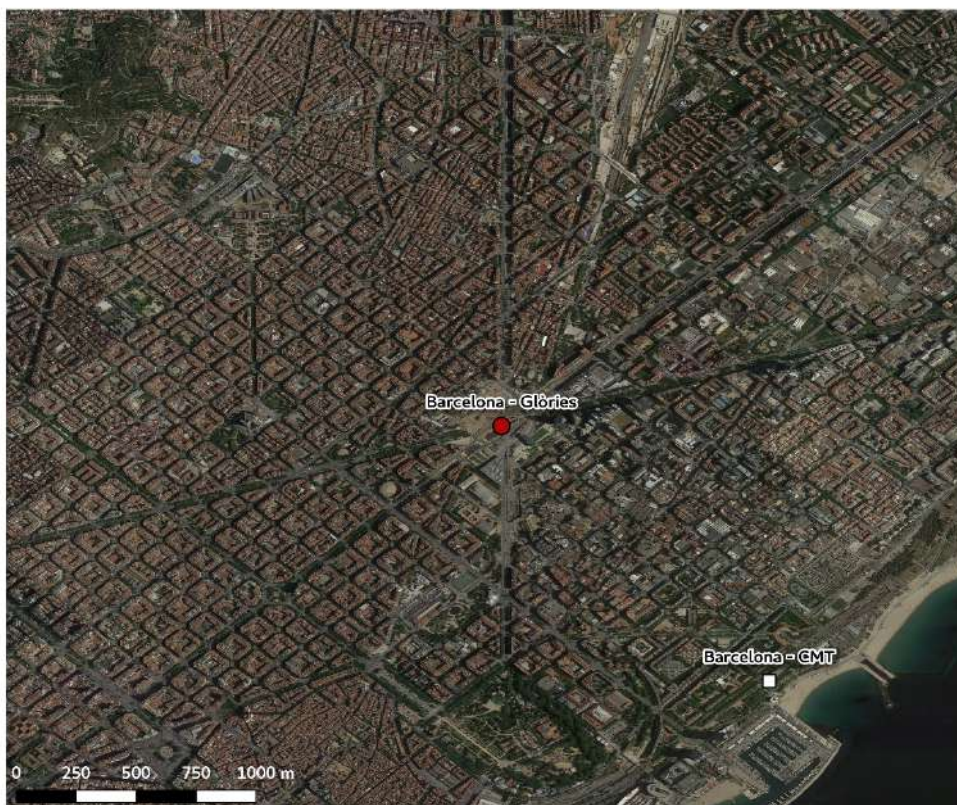


Figura 18. Localització de la plaça de Glòries (en color vermell) i de la estació meteorològica Barcelona -CMT (en color blanc).

A la taula següent, es presenten els valors obtinguts pels estadístics de validació a l'estació analitzada:

Taula 8. Estadístics de comparació observació-modelització avaluats per a les estacions considerades.

\* Valor recomanat en àrees de topografia simple. \*\*msnm: metres sobre el nivell del mar.

Variable	Temperatura (2m)			Humedad relativa (2m)			Velocidad del viento (10m)			Dirección del viento (10m)	
	MB	MAGE	IOA	MB	MAGE	IOA	MB	RMSE	IOA	MB	MAGE
Recomendación Estación (altitud)	<±0,5°C	<2,0°C	≥0,80	<±10%	<20%	≥0,60	<±0,5 m/s	<2,0 m/s *	≥0,60	<±10°	<30°*
Barcelona -CMT (6 msnm**)	-1,5	1,8	0,96	0	9	0,80	-0,9	1,7	0,72	-1	37

Comparant els resultats obtinguts amb els valors de referència, es verifica que estem dins el marge d'error. L'índex de concordança entre observacions i valors modelitzats és bona per a totes les variables (superior sempre a 0,60).

Pel que fa a la velocitat i direcció del vent, les variables meteorològiques de gran influència coincideixen significativament amb les observacions, amb un error mitjà de 1,7 m/s (RMSE) i 37° (MAGE) respectivament. Cal destacar que, tot i que l'error absolut mitjà supera el valor recomanat de 30° per a la direcció del vent, la informació proveïda per les estacions de l'AEMET per aquesta variable es dona amb una resolució de  $\pm 45^\circ$ , fet que suposa una font d'incertesa afegida al càlcul de l'error.



Pel que fa a la temperatura i la humitat relativa, el valor de l'error absolut mitjà (MAGE) del model és inferior al recomanat per les referències citades, amb errors de 1,8 °C i 9% respectivament.

Els resultats mostrats a la Taula 8 determinen que la configuració del model WRF utilitzada ofereix resultats fiables, ajustant-se de adequadament a les observacions. Això permet garantir la qualitat dels resultats del model de dispersió, des del punt de vista de la validació meteorològica.

Per completar l'anàlisi, es presenten les sèries horàries i els diagrames de dispersió de les variables meteorològiques validades (Figures 19 a 25): en ordre d'aparició, temperatura a 2 metres, humitat relativa a 2 metres, velocitat del vent a 10 metres i direcció del vent a 10 metres.

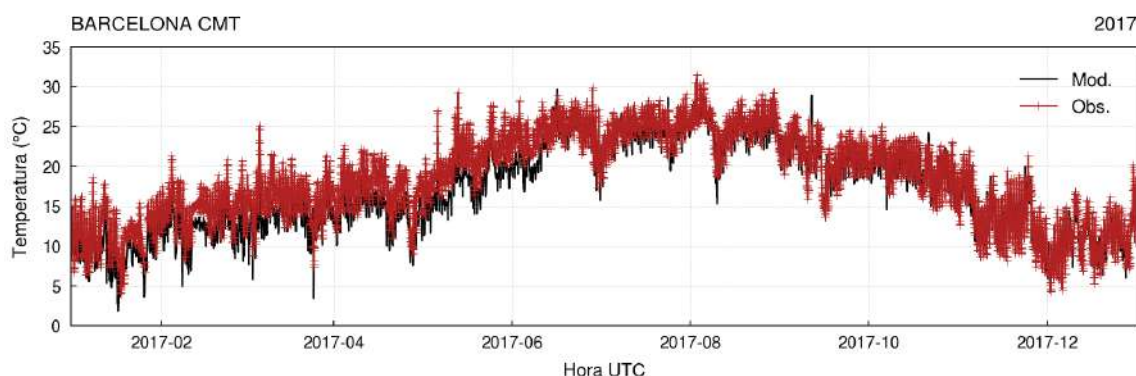


Figura 19. Sèrie anual de temperatura a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

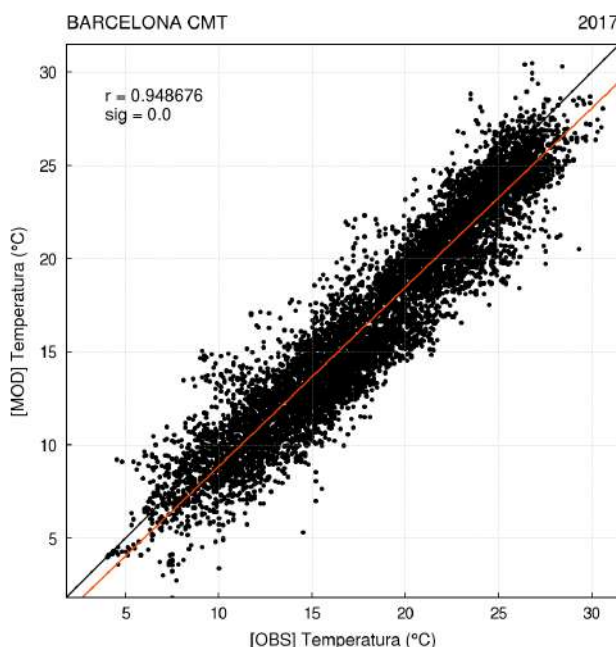


Figura 20. Diagrama de dispersió de la temperatura a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

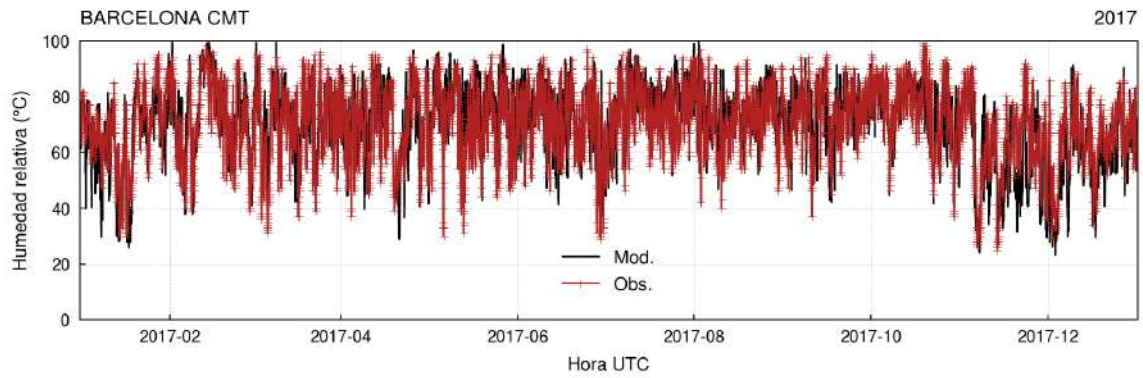


Figura 21. Sèrie anual d'humitat relativa a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

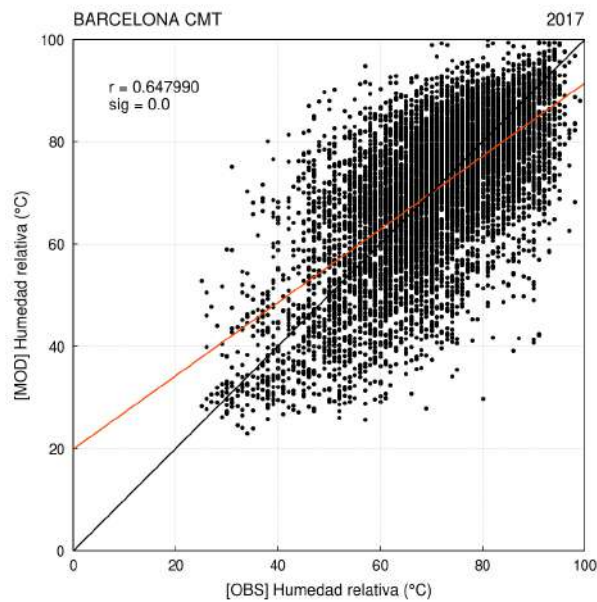


Figura 22. Diagrama de dispersió d'humitat relativa a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

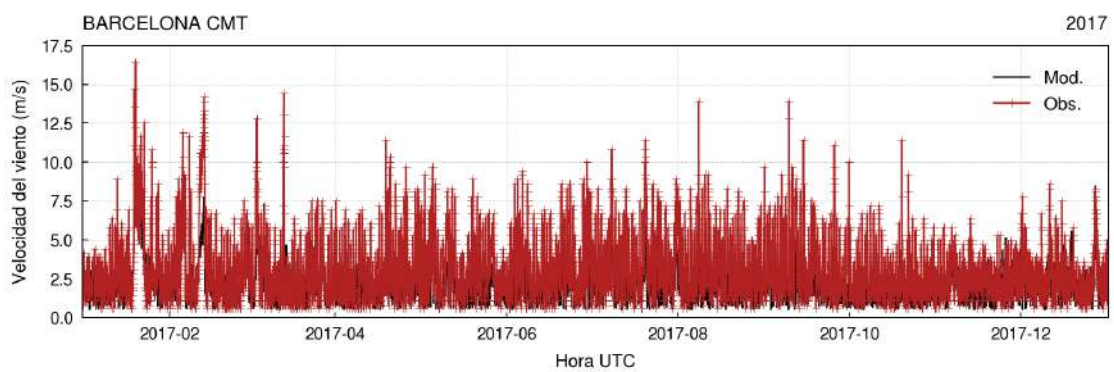


Figura 23. Sèrie anual de velocitat del vent a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

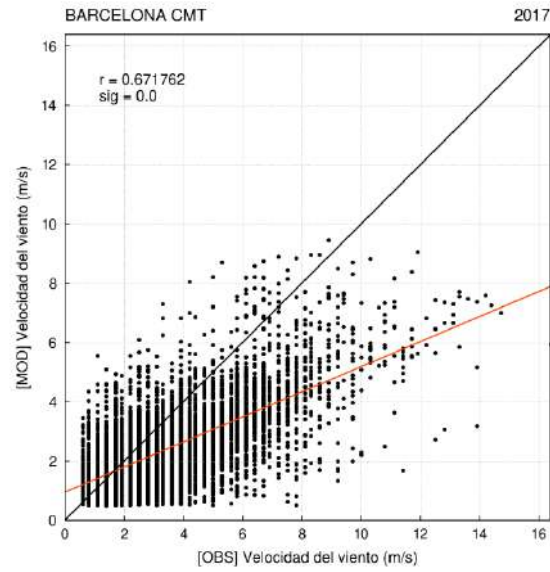


Figura 24. Diagrama de dispersió de velocitat del vent a l'estació de Barcelona-CMT diagnosticada al punt de malla del model a la mateixa localització de l'estació.

## 5. Configuració del model de dispersió

La simulació amb el model de dispersió de contaminants CALPUFF s'ha realitzat sobre un domini de  $2 \times 2 \text{ km}^2$  d'extensió amb 100 metres de resolució horitzontal. El domini està centrat en punt de coordenades 432028,5 m XUTM i 4583852,6 YUTM (WGS-84 31N). Les dades de topografia corresponen a la base de dades de U.S. Geological Survey (USGS, <http://srtm.usgs.gov>) amb una resolució de 90 metres. Els usos del sòl utilitzats s'han extret de la base de dades Corine Land Cover (CLC 2006, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006>), amb un pas de malla de 100 metres.

Taula 9. Propietats del domini de modelització CALPUFF. Coordenades referides a la zona 31 segons WGS-84

Campo	Domini CALPUFF
Rang XUTM (m)	431028,5 – 433028,5
Rang YTUM (m)	4582852,6 – 4584852,6
Extensió	$2 \times 2 \text{ km}^2$
Número de cel·les	80 x 80
Resolució horitzontal	200 m
Nivells verticals	20 (0-20-25-30-40-60-80-120-160-240-320-640-920-1200-1600-2000-2500-3000-3500-4000)

Les imatges següents mostren el domini de simulació amb els usos del sol (Figura 25) i la topografia (Figura 26) d'aquestes dues bases de dades.

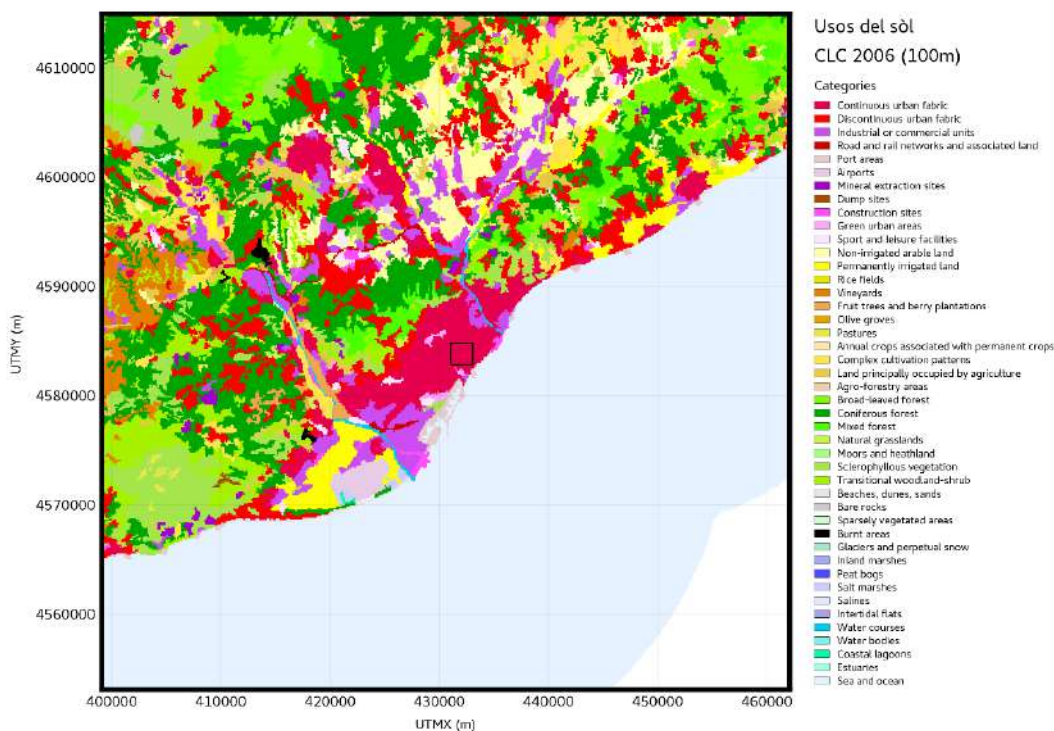


Figura 25. Usos del sòl considerats a la modelització. La línia negra delimita el domini CALPUFF.

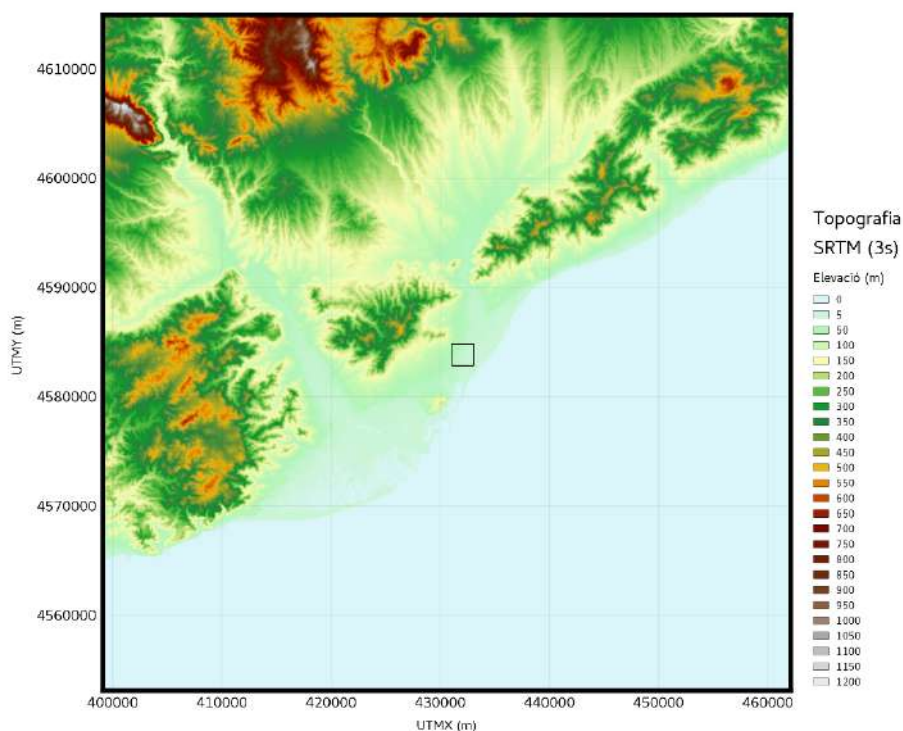


Figura 26. Topografia considerada a la modelització. La línia negra delimita el domini CALPUFF.

### 5.1. Escenaris de modelització

El model CALPUFF ha estat configurat per a dos escenaris de modelització, els quals tenen emissions diferents.

- Un escenari de modelització per al cas base, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries en l'actualitat.
- Un escenari de modelització per al cas futur, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries un cop hagin finalitzat les obres de soterrament de la Gran Via.

L'estudi s'ha desenvolupat per a 3 contaminants diferents:

- PM<sub>10</sub> – Partícules amb mida inferior a 10 micres.
- PM<sub>2,5</sub> – Partícules amb mida inferior a 2,5 micres.
- NO<sub>2</sub> – Diòxid de nitrogen.

### 5.2. Fonts d'emissió

Les fonts emissores considerades a la secció d'inventari d'emissions s'han inclòs dins del fitxer de configuració del model CALPUFF. El model de dispersió diferencia entre emissions de tipus puntual, lineal i areal. Les dades necessàries per a caracteritzar cada tipus d'emissió són les següents:

- Font puntual: coordenades geogràfiques UTM, alçada de la font, elevació del terreny, diàmetre de la font, temperatura i velocitat de sortida, i intensitat d'emissió (massa per unitat de temps).



- Font lineal: coordenades geogràfiques UTM dels extrems de la línia, alçada de la font, elevació del terreny, i intensitat d'emissió (massa per unitat de temps).
- Font areal: coordenades geogràfiques UTM dels vèrtexs que defineixen l'àrea, elevació del terreny, alçada de la font, i flux d'emissió (massa per unitat de temps i unitat de superfície).
- Font volumètrica: coordenades geogràfiques UTM dels vèrtexs que defineixen el volum, elevació del terreny, dimensions de la font, i flux d'emissió (massa per unitat de temps i unitat de superfície).

En el cas de l'escenari base, totes les fonts d'emissió han estat incorporades al model com a fonts lineals, ja que es tracta d'emissions de trànsit per cada tram del domini de simulació. En el cas de l'escenari futur, totes les fonts d'emissió han estat incorporades al model com a fonts lineals, ja que es tracta d'emissions de trànsit per cada tram del domini de simulació; a més, les emissions originades per les boques dels túnels han estat incloses al model com a fonts de volum, amb les dimensions de les sortides dels túnels, facilitades per l'Ajuntament de Barcelona.

Els valors d'emissions calculats alimenten el model de dispersió que donarà uns valors de contaminació en superfície per a cada tram. Només s'han considerat emissions degudes al trànsit per tal de quantificar les diferències que suposarà la construcció dels túnels. Per tant, les immissions calculades també seran procedents únicament del trànsit.



## 6. Resultats

En les següents seccions es presenten els camps de concentració obtinguts mitjançant el model de dispersió CALPUFF. Per a cada contaminant, s'ha calculat la concentració mitjana anual, la qual correspon al valor mig diagnosticat pel model durant l'any de simulació per a cada punt del domini considerat.

Aquest estudi només correspon al càlcul dels nivells d'immissió deguts al trànsit dins del domini de simulació. Ja que no s'han considerat cap altre tipus d'emissions ni la concentració de fons, no es compararan directament els resultats amb els valors normatius. Pel mateix motiu, i seguint les directrius de l'Ajuntament de Barcelona, només es presenten els mapes de diferències entre l'escenari base i l'escenari futur, per visualitzar més fàcilment els canvis que implica la construcció dels túnels a l'entorn més proper.

L'estudi es completa amb l'avaluació dels valors de concentració als punts discrets d'especial interès. Aquests punts han estat definits als llocs sensibles de la plaça, és a dir, punts com l'escola Casas, o els blocs d'habitatges més propers a les entrades i sortides dels túnels. A la Taula 10 es presenten els punts receptors discrets considerats a l'avaluació. Totes les coordenades UTM estan referides al fus geogràfic 31 al el·lipsoide de referència WGS-84.

A les següents seccions es presenten diferents taules i figures resum dels resultats de la modelització. A continuació es realitza una breu descripció dels diferents resultats que es mostren:

- Camps de concentració georeferenciats: es presenta el camp de les diferències de concentració georeferenciat segons els estadístics definits per a una comparació directa amb aquests.
- Taules de valors als punts receptors: es presenta el valor de les diferències de concentració als punts receptors d'interès segons els estadístics definits per a una comparació directa amb aquests.



Figura 27. Localització dels punts receptors d'interès.

Taula 10. Localització geogràfica dels receptors puntuals d'interès. UTM Zona 31 N WGS-84.

Punt	XUTM (m)	YUTM (m)
1	432538	4584403
2	432559	4584467
3	432628	4584530
4	432712	4584609
5	432688	4584406
6	432596	4584310
7	432552	4584251
8	432466	4584330
9	431831	4583718
10	431770	4583657

Punt	XUTM (m)	YUTM (m)
11	431662	4583572
12	431560	4583495
13	431468	4583375
14	431375	4583290
15	431449	4583219
16	431542	4583305
17	431649	4583409
18	431738	4583500
19	431822	4583596

## 6.1. Diferències

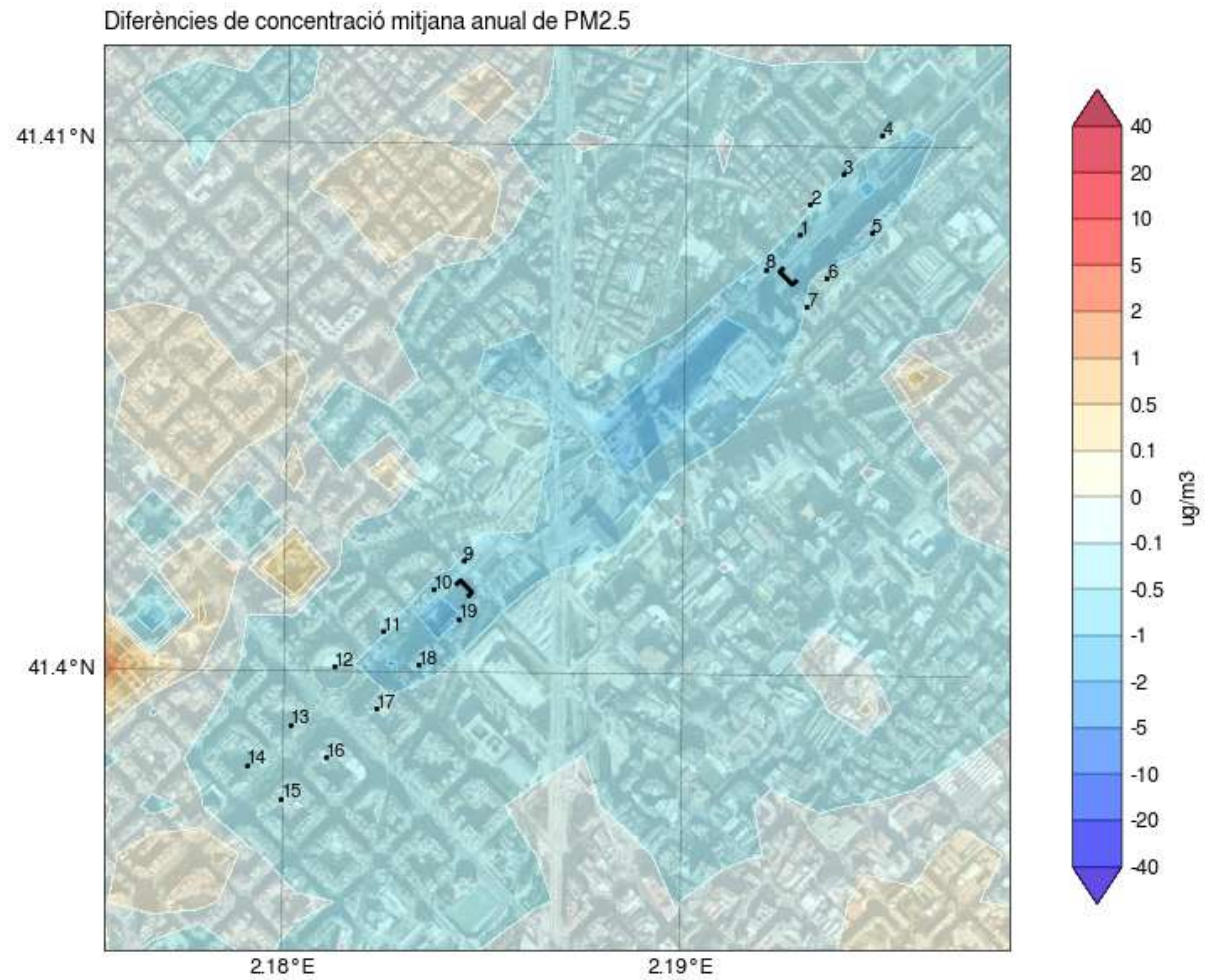


Figura 28. Diferències del camp de concentració anual de PM<sub>2.5</sub> (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.



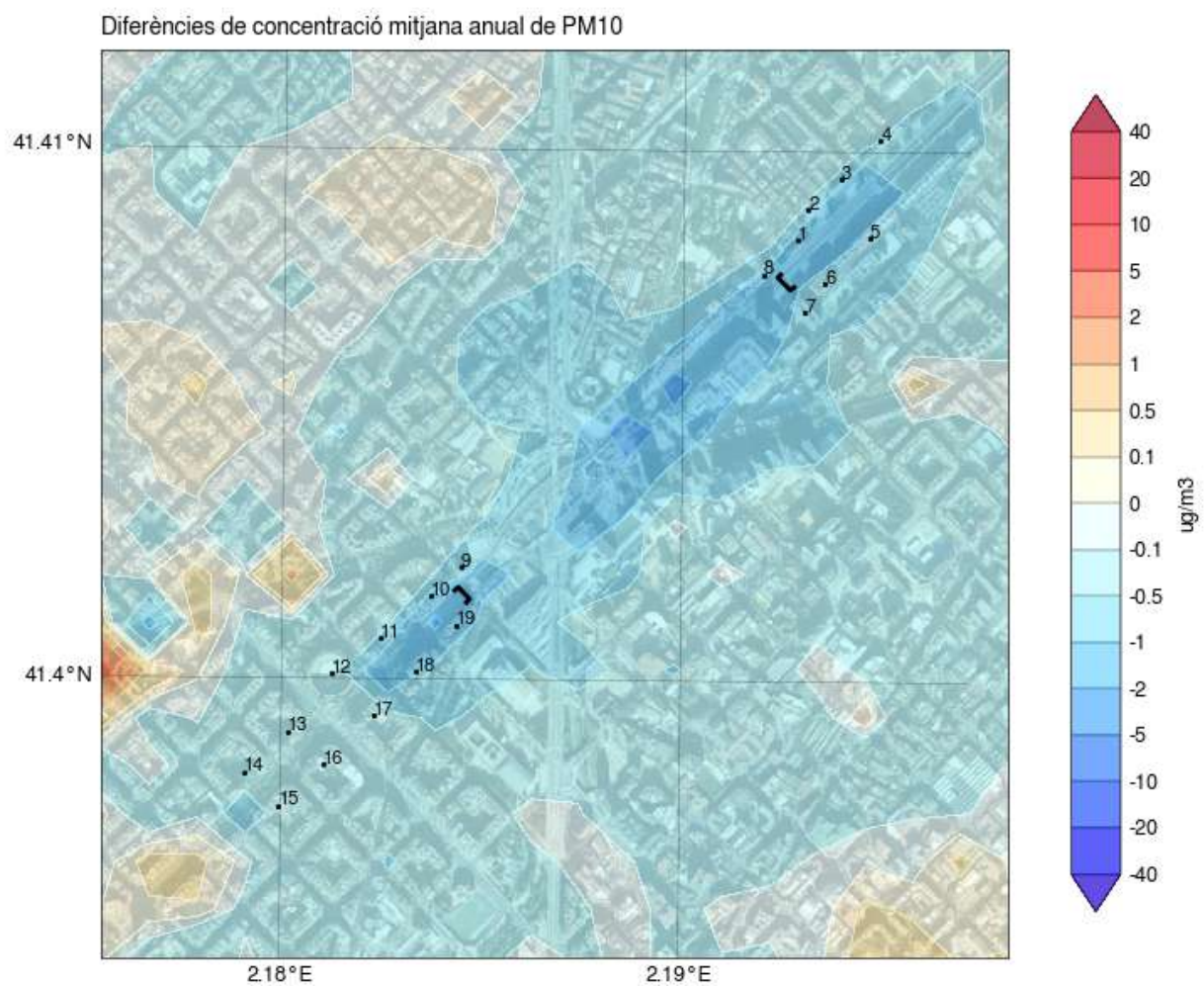


Figura 29. Diferències del camp de concentració anual de PM<sub>10</sub> (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.



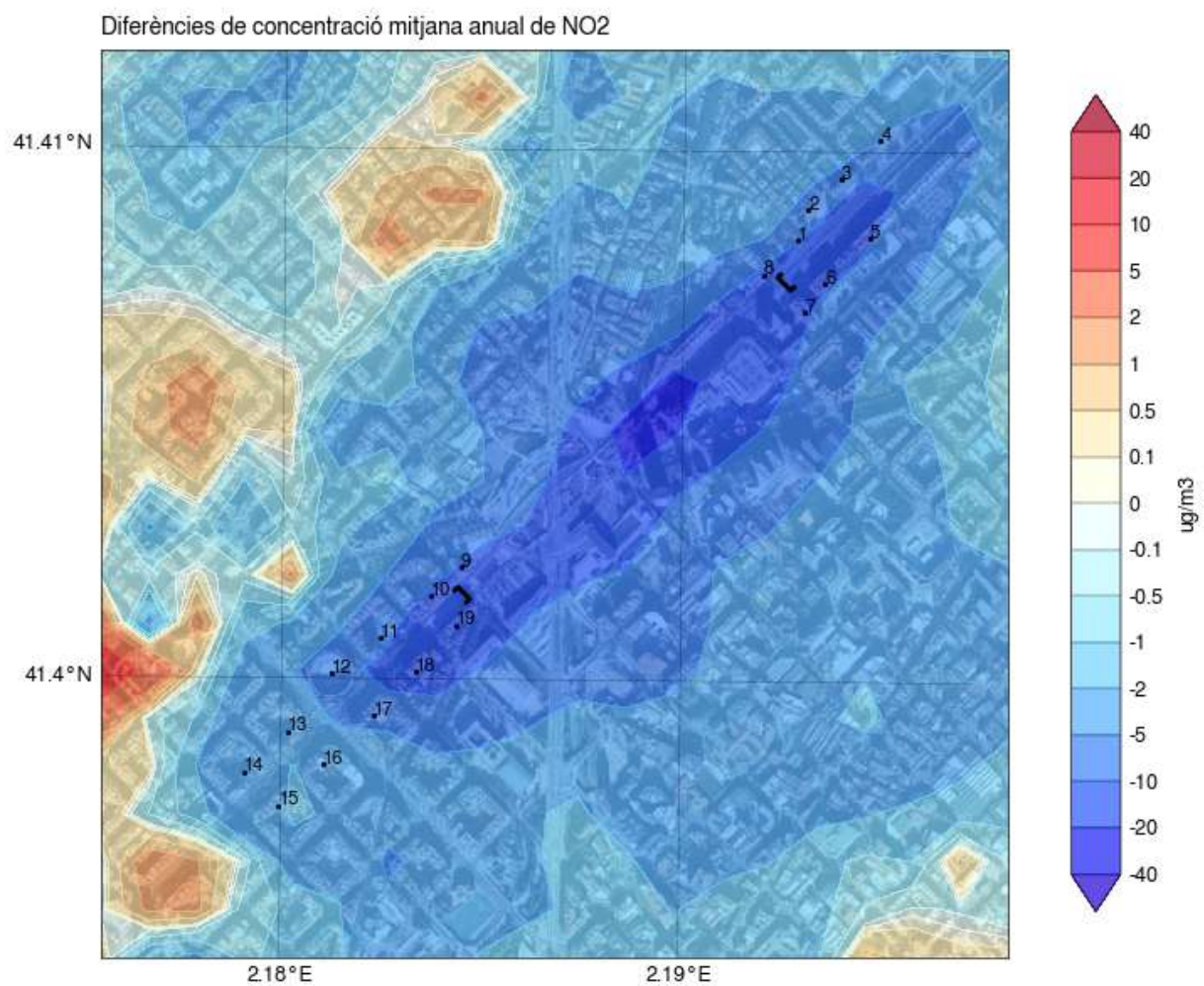


Figura 30. Diferències del camp de concentració anual de NO<sub>2</sub> (Escenari Futur – Escenari Base). Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.

Taula 11. Diferències de concentració de cada un dels contaminants als punts receptors (Escenari Futur– Escenari Base). La concentració de tots els contaminants ve expressada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , i és calculada a la superfície.

Punt Receptor	PM <sub>2,5</sub> Anual	PM <sub>10</sub> Anual	NO <sub>2</sub> Anual
1	-0.4	-0.6	-7.3
2	-0.3	-0.4	-5.4
3	-0.3	-0.5	-5.6
4	-0.3	-0.4	-4.7
5	-0.5	-0.9	-10.1
6	-0.4	-0.7	-10.2
7	-0.2	-0.4	-9.8
8	-0.4	-0.6	-8.6
9	-0.3	-0.4	-6.7
10	-0.4	-0.6	-7.8
11	-0.3	-0.4	-6.6
12	-0.3	-0.4	-6.0
13	-0.3	-0.4	-5.4
14	-0.2	-0.2	-3.2
15	-0.2	-0.4	-4.3
16	-0.3	-0.4	-5.3
17	-0.4	-0.5	-7.2
18	-0.4	-0.6	-9.7
19	-0.6	-0.9	-12.8

## 6.2. Percentatges

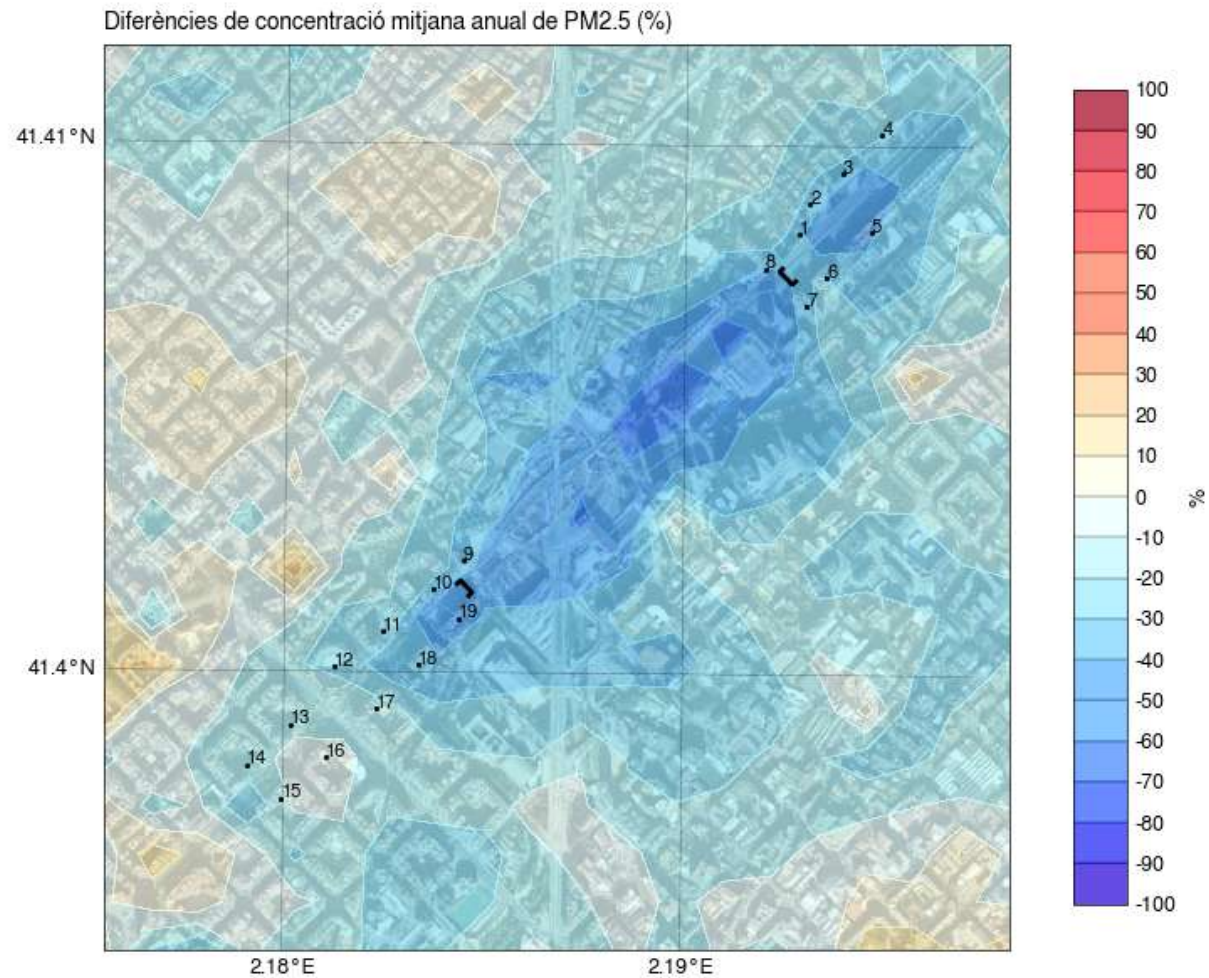


Figura 31. Percentatges de variació de concentració anual de PM<sub>2.5</sub> de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.

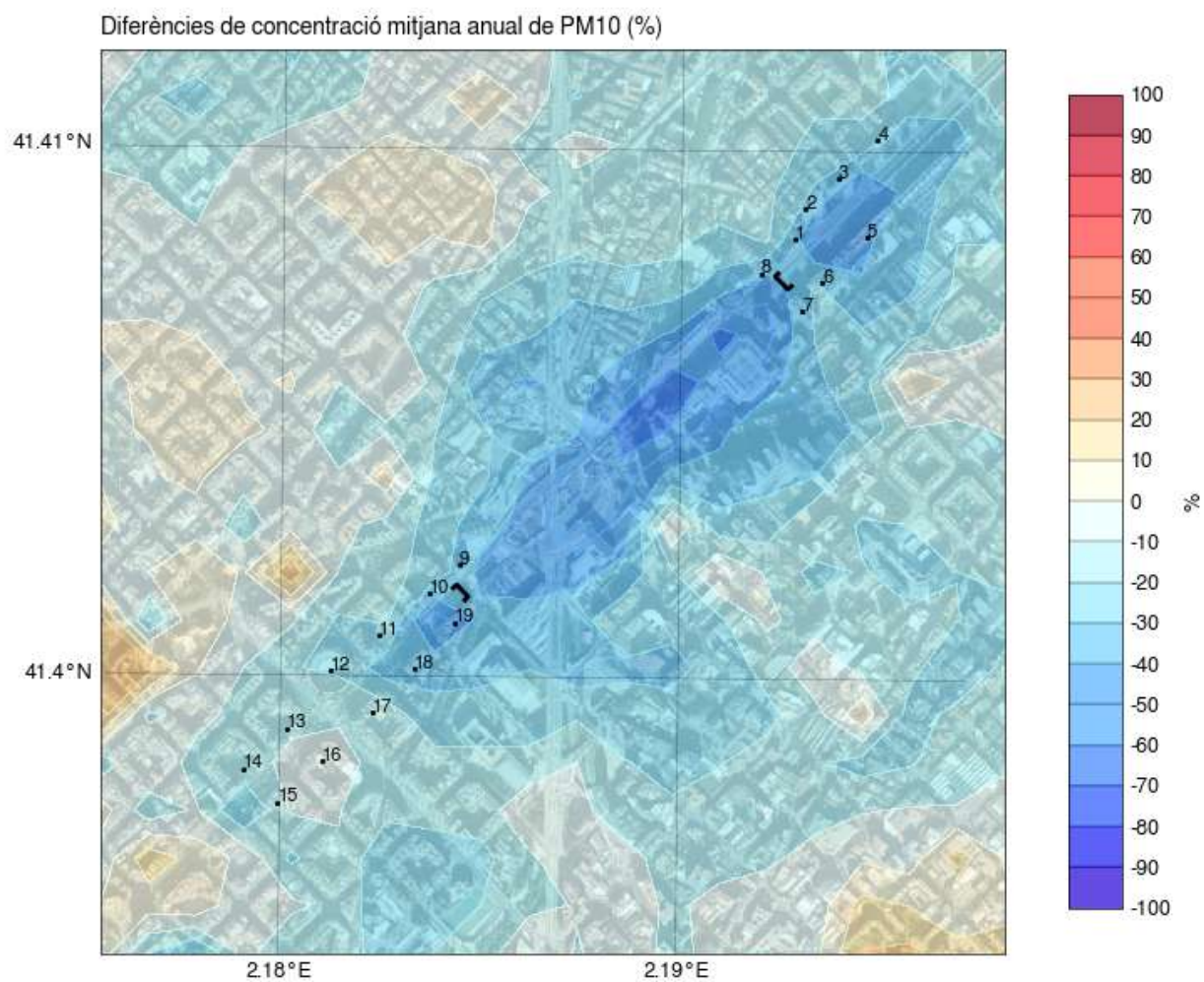


Figura 32. Percentatges de variació de concentració anual de PM<sub>10</sub> de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.



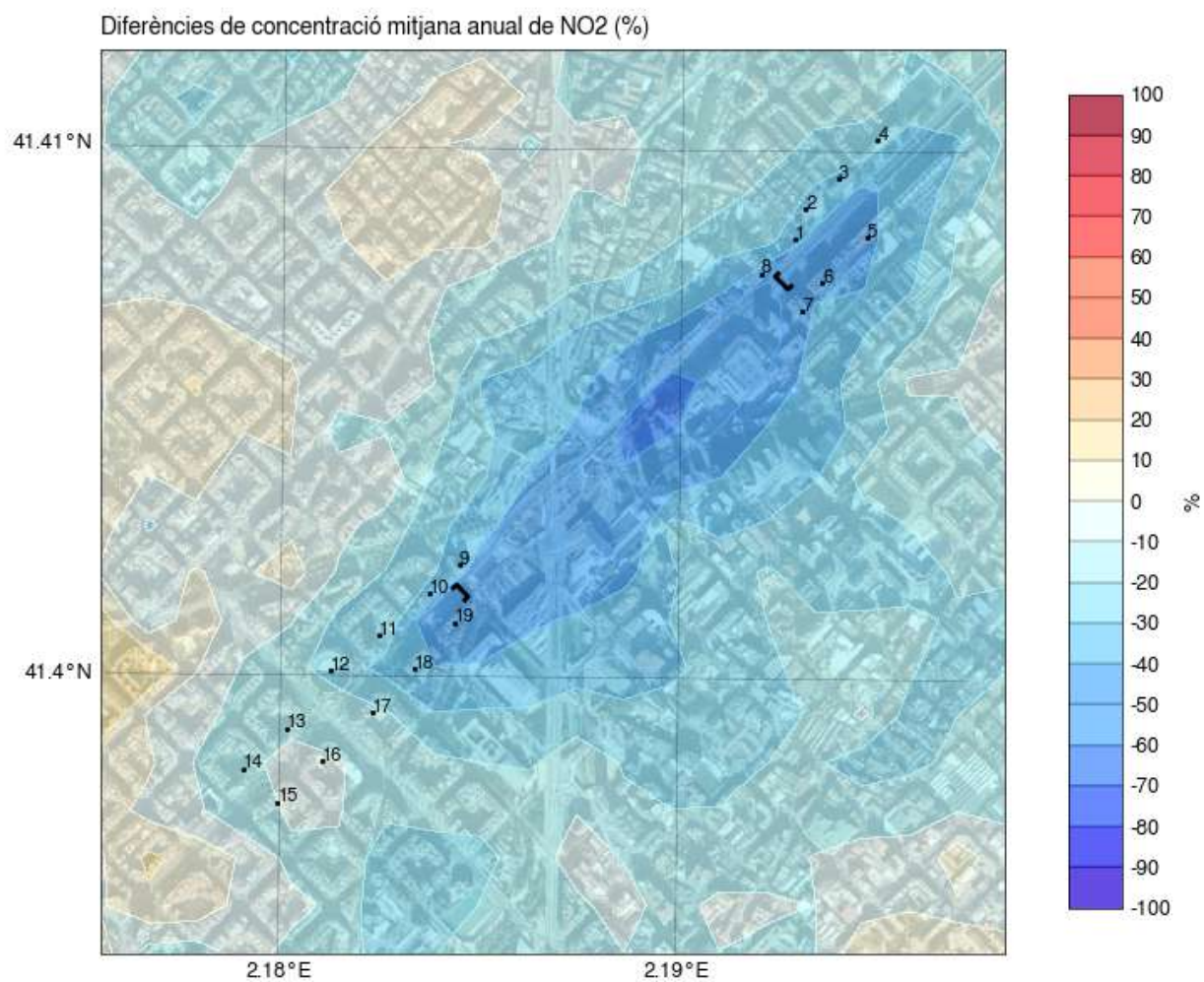


Figura 33. Percentatges de variació de concentració anual de NO<sub>2</sub> de l'escenari futur respecte l'escenari base. Es mostren els punts receptors i les boques del túnel.

Taula 12. Percentatges de variació de concentració de l'escenari futur respecte l'escenari base als punts receptors a la superfície.

Punt Receptor	PM <sub>2,5</sub> Anual	PM <sub>10</sub> Anual	NO <sub>2</sub> Anual
1	-34%	-34%	-39%
2	-32%	-31%	-33%
3	-35%	-34%	-34%
4	-32%	-32%	-31%
5	-43%	-44%	-45%
6	-33%	-34%	-46%
7	-22%	-24%	-44%
8	-33%	-32%	-43%
9	-27%	-25%	-34%
10	-34%	-32%	-36%
11	-30%	-27%	-32%
12	-29%	-27%	-29%
13	-28%	-26%	-28%
14	-22%	-21%	-22%
15	-27%	-27%	-25%
16	-26%	-25%	-27%
17	-30%	-28%	-31%
18	-35%	-33%	-38%
19	-42%	-39%	-46%



## 7. Conclusions

La modelització de la dispersió de contaminants portada a terme mitjançant el model CALPUFF ha permès estudiar la contribució de les emissions associades a l'activitat del trànsit a l'entorn a la plaça de les Glòries (Barcelona). L'estudi ha permès conèixer els nivells d'immissió i avaluar l'impacte atmosfèric dels vehicles en la qualitat de l'aire considerant dos escenaris diferents d'emissions: un escenari de modelització per al cas base, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries en l'actualitat, i un escenari de modelització per al cas futur, on s'ha considerat l'estat de la plaça de les Glòries un cop hagin finalitzat les obres de soterrament de la Gran Via.

L'estudi s'ha desenvolupat per a 3 contaminants diferents:  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  i  $NO_2$ , considerant la modelització meteorològica de l'any 2017. La informació necessària per calcular els inventaris d'emissions va ser proporcionada per l'Ajuntament de Barcelona.

Pel que fa a la meteorologia, els valors simulats i observats indiquen que la intensitat del vent predominant a la plaça de les Glòries és baixa, ja que la majoria dels vents són inferiors a 5 m/s, tot i que un 15% aproximadament de les ocasions van donar lloc a vents moderats (entre 5 i 10 m/s). La rosa de vents per a l'any 2017 indica que els vents predominants són del nord-nord-oest (NNO) i de l'oest-nord-oest, en gairebé un 10% i 9% de les ocasions respectivament. Les temperatures mínimes es produeixen al gener amb valors mitjans mensuals de 8,4 °C i valors mínims mensuals de 1,6 °C. Les temperatures màximes al 2017 es produeixen a l'estiu amb valors mitjos mensuals al voltant de 24 °C i un valor màxim registrat superior a 33 °C.

Per fer l'estimació dels inventaris d'emissions, va ser necessari conèixer la distribució del parc vehicular de la ciutat de Barcelona. Amb tota la informació facilitada per l'Ajuntament de Barcelona, s'han pogut calcular les emissions per cada un dels trams dins del domini de simulació diferenciant per tipus de vehicles, per categoria EURO, pel combustible que fan servir (autobusos, camions dièsel, camions de benzina, ciclomotors, motocicletes, furgonetes dièsel, furgonetes de benzina, turismes dièsel i turismes de benzina), tenint en compte factors com la velocitat mitjana de cada tram o la intensitat del trànsit (IMD).

L'anàlisi de diferències fet al capítol 6 d'aquest document mostra que amb la construcció dels túnels els nivells d'immissió es redueixen a la zona de la plaça, per a tots els contaminants ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  i  $NO_2$ ), on es poden apreciar disminucions superiors al 50% a l'escenari futur respecte l'escenari base.

En general, els nivells dels tres contaminants analitzats són inferiors a l'escenari futur en la major part del domini simulat:

- per a les partícules  $PM_{2,5}$ , un 88,25% dels punts del domini presenten valors de concentració inferiors a l'escenari futur respecte l'escenari base, per a la mitjana anual.
- per a les partícules  $PM_{10}$ , un 88% dels punts del domini presenten valors de concentració inferiors a l'escenari futur respecte l'escenari base, per a la mitjana anual.
- per al  $NO_2$ , un 88,25% dels punts del domini presenten valors de concentració inferiors a l'escenari futur respecte l'escenari base, per a la mitjana anual.

Pel que fa als receptors sensibles, on s'ha calculat la concentració a la superfície:

- els nivells de  $PM_{2,5}$  són inferiors a l'escenari futur en tots els punts receptors, per a la mitjana anual;
- els nivells de  $PM_{10}$  són inferiors a l'escenari futur en tots els punts receptors, per a la mitjana anual;
- els nivells de  $NO_2$  són inferiors a l'escenari futur en tots els punts receptors, per a la mitjana anual.

La reducció de concentració de contaminants en superfície també es manifesta a bona part de l'àrea circumdant de la plaça de Glòries, observant una disminució en la concentració dels contaminants ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  i  $NO_2$ ) a la zona de la Gran Via, on es redueixen els nivells gairebé un 60%. L'escenari de futur també mostra la disminució de més del 30% en la concentració dels tres contaminants als carrers del voltant de la plaça, especialment al costat mar.

Cal destacar que els resultats s'han estimat considerant el escenari de dilució de la concentració de contaminants més desfavorable que produeix la ventilació dels túnels. La dilució s'ha considerat aplicant un coeficient de dilució per a tota la malla, calculat per a túnels de tipus longitudinal pel Centre d'Etudes des Tunnels (CETU). Aquest coeficient es va estimar de manera experimental, i depèn de la distància i l'angle des de la boca del túnel, i en aquest estudi s'ha volgut treballar amb el cas més desfavorable (coeficient de dilució de 0,05), que representa la localització on la dilució es menor. Al cas real, la dilució podria ser major i per tant els nivells de contaminants a la zona de la sortida dels túnels es reduirien més.

Els resultats presentats a les taules de punts receptors també s'han calculat amb l'escenari més desfavorable (coeficient de dilució de 0,05). No obstant, a l'Annex II es presenten els resultats aplicant el coeficient específic de cada punt, tenint en compte la distància i l'angle de hi ha fins la boca del túnel més propera. Això també ha resultat amb disminucions de la concentració encara superiors per a tots els punts receptors a l'escenari futur.

Des de l'experiència de Meteosim, i amb l'anàlisi presentat en aquest document, es pot concloure que, tres la finalització de la construcció dels túnels, en general en tota l'àrea d'anàlisi la qualitat de l'aire millorarà per als contaminants  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  i  $NO_2$ .





## Annex I: Classificació EURO dels vehicles

TIPUS	NORM. EURO	percentatge
ALTRES	elèctric	0%
ALTRES	EURO_2	0%
ALTRES	EURO_3	0%
ALTRES	EURO_4	0%
ALTRES	EURO_5	0%
ALTRES	EURO_6	0%
ALTRES	nd	0,10%
AUTOCAR	elèctric	0%
AUTOCAR	EURO_1	0%
AUTOCAR	EURO_2	0,10%
AUTOCAR	EURO_3	0,60%
AUTOCAR	EURO_4	0,40%
AUTOCAR	EURO_5	0,30%
AUTOCAR	EURO_6	0,10%
CAMIÓ	preEURO	0,10%
CAMIÓ	elèctric	0%
CAMIÓ	EURO_1	0,10%
CAMIÓ	EURO_2	0,50%
CAMIÓ	EURO_3	1,50%
CAMIÓ	EURO_4	2%
CAMIÓ	EURO_5	1,10%
CAMIÓ	EURO_6	0,20%
CAMIÓ	nd	0%
FURGONETA	preEURO	0,10%
FURGONETA	elèctric	0,10%
FURGONETA	EURO_1	0,10%
FURGONETA	EURO_2	0,60%
FURGONETA	EURO_3	2,50%
FURGONETA	EURO_4	3,80%
FURGONETA	EURO_5	5,50%
FURGONETA	EURO_6	0,80%

FURGONETA	nd	0%
MOTO/SCOOTER	nd	8,50%
MOTOCICLETA	preEURO	0,10%
MOTOCICLETA	elèctric	0%
MOTOCICLETA	EURO_1	0,30%
MOTOCICLETA	EURO_2	0,70%
MOTOCICLETA	EURO_3	2,80%
MOTOCICLETA	EURO_4	0,10%
MOTOCICLETA	EURO_5	0%
MOTOCICLETA	nd	0%
SERVEIS	EURO_4	0%
SERVEIS	EURO_5	0,20%
SERVEIS	EURO_6	0,10%
SERVEIS	nd,	0,10%
TAXI	elèctric	0%
TAXI	EURO_2	0%
TAXI	EURO_3	0,30%
TAXI	EURO_4	2,40%
TAXI	EURO_5	7,40%
TAXI	EURO_6	3,40%
TAXI	nd	0%
TURISME	preEURO	0,20%
TURISME	elèctric	0,10%
TURISME	EURO_1	0,60%
TURISME	EURO_2	3,50%
TURISME	EURO_3	11,10%
TURISME	EURO_4	13,60%
TURISME	EURO_5	12,50%
TURISME	EURO_6	11%
TURISME	nd	0,20%
<b>TOTAL</b>	<b>—</b>	<b>100%</b>

	,preEURO	EURO_1	EURO_2	EURO_3	EURO_4	EURO_5	EURO_6	n,d,	TOTAL
Altres	0,6%	0,6%	4,4%	8,9%	16,1%	62,8%	3,9%	2,8%	100%
Altres(HIB)	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Biometà	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Butà	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%
Dièsel	0,2%	0,5%	4,3%	18,0%	27,7%	32,2%	16,8%	0,4%	100%
Dièsel(HIB)	0%	0%	0%	0%	0%	36,0%	64,0%	0%	100%
Gasolina	1,5%	3,5%	12%	32,8%	20,4%	13,5%	15,3%	0,9%	100%
Gasolina(EE)	0%	0%	0%	0%	0%	27,8%	72,2%	0%	100%
Gasolina(HIB)	0%	0%	0%	0%	3,5%	68,3%	28,2%	0%	100%
GLP	0%	0%	0%	0%	0,3%	58,2%	41,5%	0%	100%
GLP(HIB)	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
GNC	0%	0%	0%	0%	0%	29,6%	70,4%	0%	100%

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Percentage
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro IV	0,29%
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro V	0,61%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Conventional	1,11%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Conventional	0,45%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	0,31%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro I	0,11%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro I	0,03%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro I	0,04%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro II	0,47%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro II	0,16%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro II	0,20%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro III	0,73%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro III	0,33%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro III	0,32%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	0,37%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro IV	0,16%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	0,15%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro V	0,16%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro V	0,06%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro V	0,09%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro VI	0,18%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro VI	0,10%
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro VI	0,09%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Conventional	1,61%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 1	0,62%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 2	1,31%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 3	3,19%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 4	3,35%
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 5	1,52%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Conventional	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Conventional	0,13%
Passenger Cars	Diesel	Small	Conventional	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 1	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 1	0,39%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 1	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 2	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 2	2,29%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 2	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 3	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 3	7,46%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 3	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 4	10,46%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 4	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 5	13,01%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 5	0,00%
Heavy Duty Trucks	Petrol	>3,5 t	Conventional	0,08%
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm <sup>3</sup>	Euro 3	0,55%
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 3	1,98%
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm <sup>3</sup>	Euro 4	0,65%
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 4	2,34%
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm <sup>3</sup>	Euro 5	1,08%
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm <sup>3</sup>	Euro 5	3,87%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 1	0,10%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 2	0,13%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 3	0,26%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 4	0,19%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 5	0,06%
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Conventional	1,16%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 1	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 1	0,20%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 1	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 2	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 2	1,15%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 2	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 3	0,00%



Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 3	3,75%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 3	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 4	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 4	5,26%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 4	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 5	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 5	6,55%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 5	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	PRE ECE	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	PRE ECE	0,07%
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	0,00%
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 up to 2016	4,74%
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6 up to 2016	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	0,00%
Passenger Cars	Diesel	Medium	Euro 6 up to 2016	9,42%
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 up to 2016	0,00%



## Annex II: Diferències de concentració estimades amb coeficients de dilució específics de cada punt receptor

Diferències de concentració de cada un dels contaminants als punts receptors (Escenari Futur– Escenari Base). La concentració de tots els contaminants ve expressada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , i és calculada a la superfície.

Punt Receptor	PM <sub>2,5</sub> Anual	PM <sub>10</sub> Anual	NO <sub>2</sub> Anual
1	-0.4	-0.7	-7.8
2	-0.3	-0.4	-5.8
3	-0.3	-0.5	-6.6
4	-0.3	-0.4	-5.2
5	-0.6	-1.0	-11.6
6	-0.5	-0.8	-11.0
7	-0.5	-0.8	-11.5
8	-0.5	-0.8	-9.9
9	-0.4	-0.6	-7.9
10	-0.4	-0.6	-7.8
11	-0.3	-0.5	-7.0
12	-0.3	-0.4	-6.2
13	-0.3	-0.4	-5.6
14	-0.2	-0.3	-3.3
15	-0.2	-0.4	-4.3
16	-0.3	-0.4	-5.4
17	-0.4	-0.5	-7.5
18	-0.5	-0.7	-10.1
19	-0.6	-0.9	-12.8

Percentatges de variació de concentració de l'escenari futur respecte l'escenari base als punts receptors.

Punt Receptor	PM <sub>2,5</sub> Anual	PM <sub>10</sub> Anual	NO <sub>2</sub> Anual
1	-40%	-39%	-42%
2	-30%	-28%	-36%
3	-37%	-34%	-39%
4	-36%	-33%	-34%
5	-53%	-52%	-52%
6	-42%	-41%	-49%
7	-44%	-43%	-52%
8	-48%	-46%	-50%
9	-40%	-38%	-40%
10	-34%	-32%	-36%
11	-32%	-30%	-34%
12	-30%	-28%	-30%
13	-28%	-27%	-29%
14	-23%	-22%	-23%
15	-27%	-27%	-25%
16	-27%	-25%	-28%
17	-31%	-29%	-32%
18	-38%	-35%	-40%
19	-42%	-39%	-46%

